جامعـــة دمشـــــق

كلية الهندسة المعمارية

قسم علوم البناء والتنفيذ



مقرر مواد البناء
Construction Materials

السنة الثانية

مدرس المقرر:

الدكتور المهندس محمد ياسر العمّار

مدرس في كلية الهندسة المعمارية بجامعة دمشق

المحاضرة الأولى

مواد البناء (المفهوم - التطور التاريخي)

إن المواد بصفة عامة عصب العلوم الهندسية باختلاف اختصاصاتها، وذلك لاعتماد العلوم الهندسية على الاستغلال الأمثل للموارد والمواد، بما يواكب التقدم الصناعي والتقني؛ وعليه كان على المهندسين المتخصصين الكشف عن أسرار المواد المختلفة، والإحاطة الدقيقة بمكوناتها، وتحسين خواصها لتواكب المجالات الهندسية المختلفة.

لدى دراسة أي مادة من منطلق هندسي، لا بد من الاهتمام بالنواحي العلمية النظرية مع النواحي العملية التطبيقية، عبر الجمع ما بين المبادئ العلمية والخبرة المهنية؛ اللازمتين لعمل وصناعة المواد والاستفادة منها، ولكي يتحقق ذلك يجب أن يكون المهندس على دراية كبيرة بإنشاء مواد جديدة واختيار أفضلها لتتماشى مع ظروف استخدامها، أو تحسين مواد موجودة ودراسة خواصها لاستخدامها في مجالات متنوعة.

1- مفهوم مواد البناء:

يُقصد بمواد البناء جميع المكونات الأساسية المستخدمة في تشييد بناء ما، ويمكن لهذه المكونات أن تكون من المواد الصلبة كالآجر أوالأحجار أو الأخشاب، أو خليط ما بين المواد الصلبة والسائلة كالخلطة الإسمنتية الخشنة؛ الناتجة من الإسمنت والرمل والحصويات والماء، وكذلك يشمل مفهوم مواد البناء تلك المكونات المستخدمة في أعمال إعادة تأهيل أو ترميم بناء ما، كالمواد المولدة للطاقة بالاستفادة من المصادر الطبيعية.

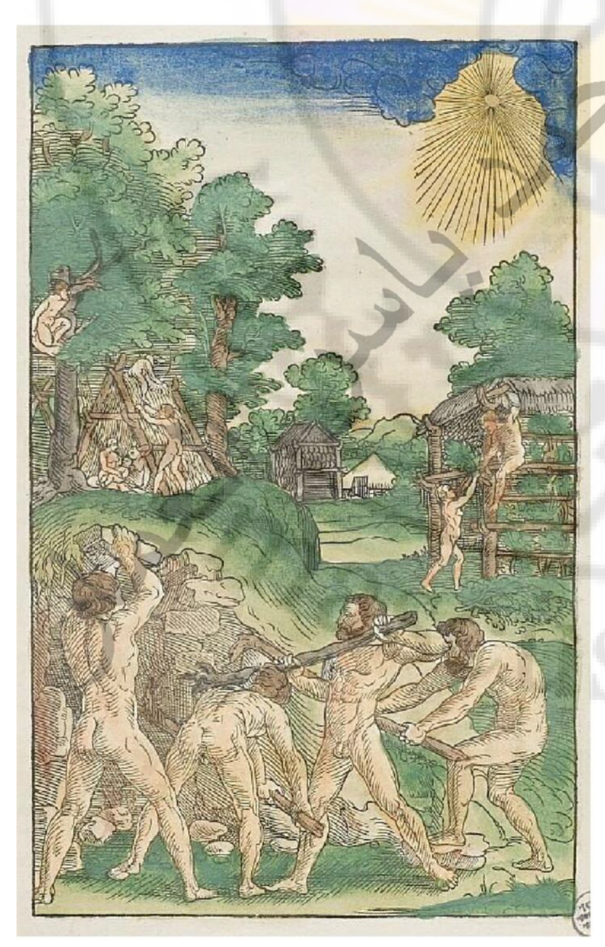
2- لمحة تاريخية:

يتداخل تاريخ البناء مع علم الهندسة الإنشائية، وهنا يظهر لدينا التساؤل التالي:

لماذا تم تشييد الأبنية بالطريقة التي نراها الآن!

لذلك ينبغي أن نستند على علم الآثار، بهدف تسجيل شكل الأجزاء التي بقيت على قيد الحياة والأدوات المستخدمة على مر العصور، للإجابة عن التساؤلات التالية:

- كيف عاش البنائين حياتهم المهنية؟
- كيف سجل البنائين إنجازاتهم الهندسية؟



استطاع الإنسان خلال العصر الحجري الجديد "9000 قبل الميلاد إلى 5000 قبل الميلاد" بتكوين مجموعة من الأدوات، اللازمة لحياته اليومية، كان ذلك بالاستفادة من المواد التالية: العظام – الجلود – الأحجار – الأخشاب – الأعشاب – الألياف الحيوانية – المياه، وقد سُميت هذه الفترة بذلك لاعتبارها الفترة الأخيرة قبل التوجه الفعلي نحو استخدام الأخشاب في البناء.




تضمنت مواد البناء خلال تلك الفترة عظاماً مثل أضلاع حيوان الماموث، والجلد، والحجر، والمعادن، واللحاء، والخيزران، والطين، والجص الجيري، والمزيد، مثالاً على ذلك مسكن مصنوع من عظام حيوان الماموث على شكل حفرة، أُعيد تشكيله في معرض ضمن المتحف الوطني للطبيعة والعلوم في طوكيو باليابان.



حيث كان يعيش الإنسان في الكهوف والملاجئ البسيطة، منها ما هو حفر صخرية للحماية وتلبية الاحتياجات الأساسية للإنسان، وأحياناً باسم التحصينات للسلامة، ومنها أيضاً ملاجئ بسيطة، ومن أبرز الأمثلة عليها هي الخيام، التي استعان بها البدو الصيادون والرعاة في المناطق النائية "حيث لا تترك أي أثر لهم"، وذلك المنازل التي بناها شعب الأسكيمو، وربما كانت الجسور الأولى التي صنعها الإنسان في مرحلةٍ لاحقة مجرد جذوع خشبية موضوعة عبر مجرى مائي ثم ممرات خشبية لاحقًا، لهذا السبب، فإن القليل الذي يمكننا قوله عن البناء المبكر جداً هو في الغالب تخميناً، بالاستناد إلى ما نعرفه عن الطريقة التي يقوم بها البناؤون بتشييد الأبنية.

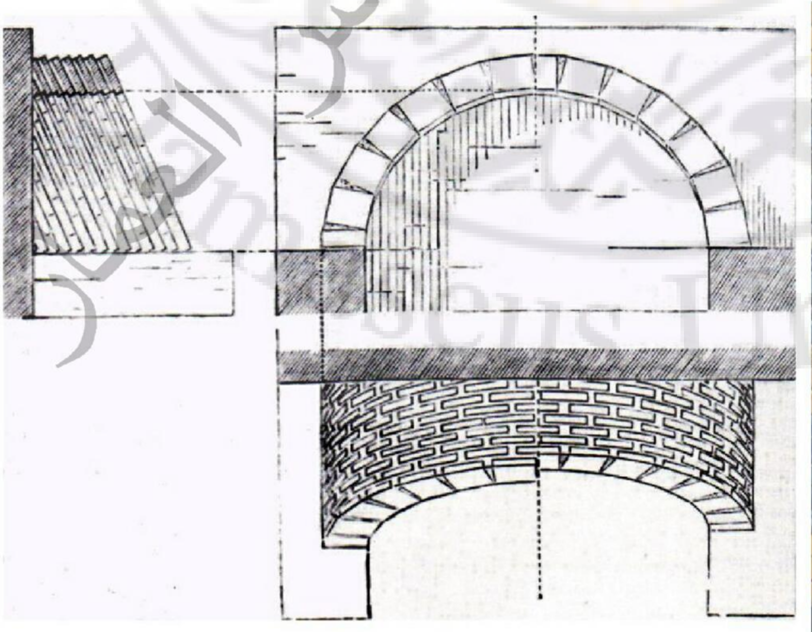
وضع غياب الأدوات المعدنية قيوداً على المواد التي يمكن تصنيعها، ولكنه كان بالإمكان بناء هياكل حجرية متقنة تماماً ببراعة، باستخدام تقنيات الجدران الحجرية الجافة كما هو الحال في اسكتلندا، وهي القرية الأوروبية الأكثر اكتمالاً من العصر الحجري الحديث، كذلك الأمر تم العثور عليها في المدينة الفلسطينية أريحا، وبذلك تراوحت العمارة في العصر الحجري الحديث من الخيمة إلى ترتيب من الأحجار الكبيرة أخذت اسم "المغليث أو الجَنْدَلُ أو الجَيْحَل أو مغليطيا"، كما تعتبرستونهنج Stonehenge من أكثر الهياكل الصخرية الرائعة من العصر الحجري الحديث في أوروبا الغربية "حنوب غرب إنكلترا".

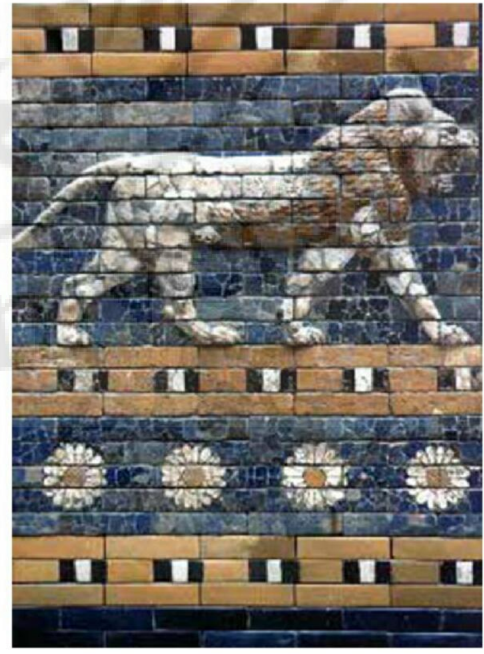


بدأ استخدام النحاس قبل 5000 عام قبل الميلاد والبرونز حوالي 3100 قبل الميلاد، على الرغم من اختلاف الأوقات حسب المنطقة، فقد تم استخدام النحاس والبرونز لنفس أنواع الأدوات مثل الفؤوس والأزاميل، وخلال تلك المرحلة تم تطوير أداة حديدة "المنشار"، مثال على ذلك المنشار المكتشف بموقع أكروتيري الأثري Akrotiri، والموجود في متحف ثيرا ما قبل التاريخ بسانتوريني في اليونان، بينما انتشر استخدام الحديد للأدوات والأسلحة في فترة العصر الحديدي "الفترة الواقعة ما بين 1200 - 50 عام قبل الميلاد".



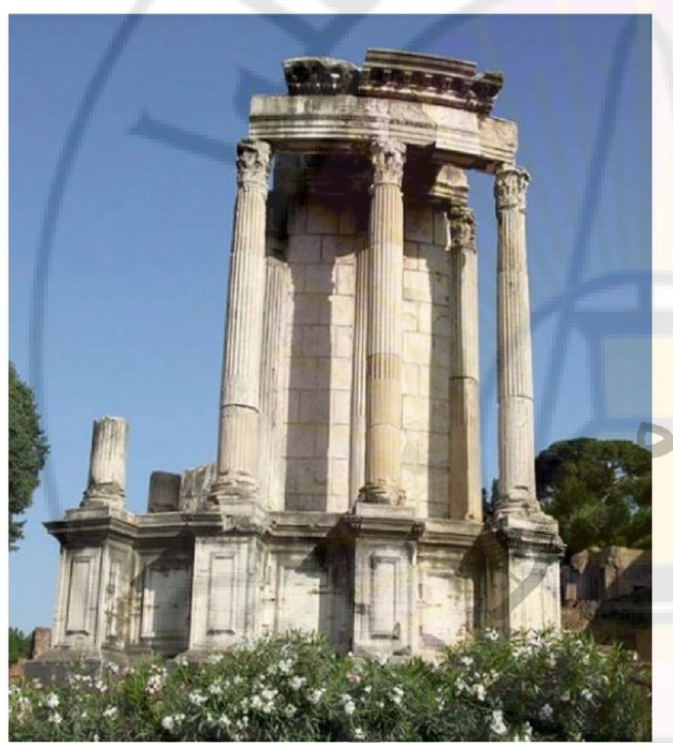
تم العثور على أقدم المباني الكبيرة في بلاد ما بين النهرين القديمة، إذ كانت مادة البناء الرئيسية هي الطوب اللبن، إضافةً إلى ذلك قام الفراعنة في مصر ببناء هياكل ضخمة من الحجر، حافظ المناخ الجاف على الكثير من المباني القديمة، وقد كان الإغريق القدماء مثل المصريين وبلاد ما بين النهرين، يميلون إلى بناء معظم مبانيهم من الطوب اللبن.







وفي تناقضٍ صارخ مع الثقافات السابقة، يُعرف قدر هائل عن تشييد المباني الرومانية، بقيت كمية كبيرة جدًا، بما في ذلك المباني السليمة الكاملة مثل البانثيون وروما والآثار المحفوظة جيداً في مدينتي بومبي وهيركولانيوم، حيث كان التطور الروماني العظيم في مواد البناء هو استخدام ملاط الجير المائي المسمى "الإسمنت الروماني، من أهم الأمثلة على ذلك معبد فيستا Vesta في تيفولي بروما الإيطالية، كما استبدل الرومان البرونز بالخشب في دعامات الأسقف الجملونية، كما في سقف رواق البانثيون، وكذلك صنع الرومان قرميداً من البرونز للسقف، مع استخدام الرصاص في مواد تغطية الأسقف وإمدادات المياه وأنابيب الصرف، واستخدموا الزجاج في البناء عبر الزجاج الملون في الفسيفساء والزجاج الشفاف للنوافذ، حيث أصبح الزجاج شائع الاستخدام إلى حد ما في نوافذ المباني العامة.



عملت الثورة الصناعية على إحداث تغييرٍ في معالم المواد المستخدمة بالبناء، حيث انتشر استخدام الصلب، نظراً لإنتاجه بكميات كبيرة منذ منتصف القرن التاسع عشر، فقد تم استخدامه على شكل عوارض، وفي أعمال الخرسانة المسلحة، إذ كانت الخرسانة بالقرن التاسع عشر تستعمل فقط في تشييد الأبنية التجارية، ولم تحظى حينها بقبول من المجتمع لأسبابٍ جمالية، وبدأت تدخل الخرسانة في تشييد المنازل في الفترة الزمنية ما بين (1850-1880)م، ففي العام 1875م قام المهندس الميكانيكي وليام وارد William E. Ward ببناء منزل من الخرسانة المسلحة في أمريكا،



ولجعله مقبول اجتماعياً، فقد شيده بحيث يكون مشابه للبناء الحجري، والذي يُعتقد أنه من أوائل المباني الخرسانية المسلحة بالعالم، بينما يعتبر برج إيفل من أهم الأبراج الحديدية المبني ما بين (1889 -1887)م في فرنسا.



تطورت مواد البناء وإمكانياتها بشكلٍ كبير خلال القرن التاسع عشر والقرن العشرين، الأمر الذي ساهم في تطور الفكر المعماري، والتي أثرت على طرق إنشاء وتشكيل المباني، ومازالت تؤثر حتى يومنا هذا، ليتم التوجه خلال القرن الحادي والعشرين نحو مجموعة من المواد فائقة الأداء، والتي تُسمى المواد الذكية.





المحاضرة الثانية

مواد البناء (الاختيار ـ التصنيف ـ الخواص الرئيسة)

1- العوامل المؤثرة في اختيار مادة البناء:

استخدم الإنسان أنواعاً كثيرة من مواد البناء على مر العصور، بما يخدم احتياجاته المختلفة، وقد تم التركيز في ذلك على وفرة هذه المواد وكفاءتها ودرجة ديمومتها ، مما تطلب البحث عن طرق استخراج هذه المواد أو تصنيعها، ليتم التوجه في مرحلة لاحقة إلى اعتبارها تجارةً من أفضل الأعمال ربحاً على مستوى العالم، لذلك يجب على المهندس عدم الانسياق نحو اعتبار مادة البناء تجارةً، بل التركيز على مجموعة من العوامل التي يؤثر باختيار مواد البناء الأنسب لطبيعة الأعمال الهندسية، وتتحدد هذه العوامل بما يلي:

01- التكلفة الاقتصادية الإجمالية لمادة البناء:

ينظر بعض المهندسين والمهنيين إلى التكلفة الأولية لمادة البناء عند شرائها، دون قياس تكلفة هذه المادة بعمرها الافتراضي، إضافةً إلى ذلك، تؤثر تكاليف صيانة المواد على القرار النهائي لاختيار المادة الأنسب، لذلك لا بد من مقارنة أسعار المواد الأنسب وفقاً لعمرها الافتراضي، والتكاليف المحتملة لصيانتها في المستقبل.

02- التكاليف البيئية:

قد تؤثر مواد البناء على البيئة، لتُحدث تلوثاً كلياً ناتجاً عن الصناعات الاستخراجية لهذه المواد (التعدين – قطع الأشجار – نقل المواد الخام – التصنيع – نقل المنتجات – تجارة التجزئة - التركيب .. إلخ)، أو تلوثاً جزئياً نتيجةً لعدم تصاعد الغاز من مواد البناء في البناء أو تلوث الهواء الداخلي؛ الأمر الذي يتطلب التوجه نحو مواد البناء البيئية بالدرجة الأولى، مع التركيز على إعادة استخدام المواد أو تدويرها، والتخلص من نفايات التشييد.

03- تكاليف الطاقة:

تشمل تكاليف الطاقة كل من التكاليف الأولية (كمية الطاقة المستهلكة لاستخراج مواد البناء أو إنتاجها، ونقلها لموقع العمل بغرض تنفيذ العناصر الإنشائية والمعمارية اللازمة)، كما تشمل التكاليف طويلة الأمد (الطاقة اللازمة لاستخدام المبنى وصيانته أو إزالته)، لذلك لا بد من التوجه نحو استخدام مواد البناء التي تساعد في تقليل استهلاك الطاقة طوال فترة العمر الافتراضي للبناء.

04- التكاليف الاجتماعية:

تتحدد التكاليف الاجتماعية بالضرر الحاصل في صحة الأشخاص، الذين يساهمون باستخراج المواد أو إنتاجها، وكذلك نقلها، فضلاً عن المشكلات الصحية المحتملة لشاغلي المبنى من الإنسان والحيوانات والنباتات.

2- تصنيفات مواد البناء:

تُقسم المواد الهندسية وفقاً لتصنيفات متعددة، كما يلي:

01- المواد الهندسية وفقاً لطبيعة تركيبها.

02- المواد الهندسية وفقاً لمصادر الحصول عليها.

03- المواد الهندسية وفقاً لخواصها الميكانيكية.

04- المواد الهندسية وفقاً لطبيعة التشوهات التي تحصل فيها.

01- مواد البناء وفقاً لطبيعة تركيبها:

أ- المواد المعدنية Metallic MAterials:

- معادن حديدية Ferrous Metals: مثل الحديد (الزهر Cast Iron – المطاوع Wrought Iron) والفولاذ (الكربوني Carbon Steels – السبائك Alloy Steels – المقاوم للصدأ Stainless Steels).
- معادن غير حديدية Nonferrous Metals: منها ما هو ثقيل (النحاس – والنيكل)، وما هو خفيف (الألمنيوم والماغنسيوم)، وما هو طري (الصفيح والرصاص).

ب- المواد غير المعدنية Non Metallic Materials:

- مواد البناء (الأحجار - البلوك - الركام - الخرسانة – الإسمنتيات – الجبس – الأخشاب.. إلخ).
- مواد متنوعة (المطاط – البلاستيك – الفوم.. إلخ).

ج- المواد المولدة للطاقة Energy Product Materials: الماء والفحم والمواد البترولية.. إلخ.

02- مواد البناء وفقاً لمصادر الحصول عليها:

أ- مواد البناء من مصادر طبيعية:

يُمكن تقسيم المواد الطبيعية وفقاً لتدخل اليد البشرية في تكوينها إلى ما يلي:

- **مواد البناء الطبيعية:** هي المواد التي تُستخدم بنفس بنيانها وخواصها كما هي بالطبيعة، مثل الأحجار والركام بأنواعه والأخشاب.
- **مواد البناء المُستخلصة:** هي المواد التي يتم الحصول عليها بالاستفادة من الخامات الطبيعية، مثل الحديد والنحاس والذهب والألمنيوم.

ب- مواد البناء من مصادر صناعية:

هي المواد التي يتم تحضيرها في المعامل أو المصانع بغرض الحصول على خواص معينة تُلاءم العمل المصممة من أجله، مثل مواد الطلاء ومواد العزل وسبائك المعادن والإسمنت... إلخ.

ج- مواد بناء من مخلفات الأعمال الهندسية والصناعية:

هي المواد التي يتم الحصول عليها من مراحل تصنيع الأعمال الهندسية، مثل خبث الافران ونواتج الاحتراق والمُخلفات الخرسانية... إلخ.

03- مواد البناء وفقاً لخواصها الميكانيكية:

إن الخواص الميكانيكية من أهم الخواص التي تدرس سلوك المواد وخواصها، لذلك يمكن تقسيم المواد الهندسية وفقاً لخواصها الميكانيكية إلى ما يلي:

أ- **مواد مطيلة Ductile:** هي المواد التي يتغير شكلها، أو يمكن أن يحدث بها استطالة، بتأثير الأحمال المختلفة، التي تؤثر عليها، وتكون خاصية المرونة بها عالية، وكذلك مقاومتها للشد عالية، مثل الحديد المطاوع والألمنيوم والبلاتين والتنغستن وغيرها من المواد المعدنية.

ب- **مواد قصفة Brittle:** هي المواد التي تكون مقاومتها للشد ضعيفة، ولا تقاوم أحمال الصدم، ولكن تتحسن مقاومتها للضغط بشكل مناسب، مثل الأحجار والزجاج والحديد الزهر... وغيرها من المواد المعدنية وغير المعدنية.

ج- **مواد نصف مطيلة Semi Ductile:** هي المواد التي تجمع ما بين خواص المواد المطيلة من حيث قدرتها على الاستطالة، وخواص المواد القصفة بتحسين ظاهر في خواص المرونة، وهذه المواد هي الصلب الكربوني والنحاس الأصفر.

04- مواد البناء وفقاً لطبيعة التشوهات التي تحصل فيها:

أ- **المواد المرنة Elastic Materials:** هي المواد التي يحصل تغير في أحد أبعادها عن تعرضها لقوى معينة، ثم إذا أُزيلت هذه القوى عادت إلى أبعادها الأصلية، ويعتبر المطاط من أهم هذه المواد.

ب- **المواد اللدنة Plastic Materials:** هي المواد التي يحصل تغير في أحد أبعادها عن تعرضها لقوى معينة، ولا تزل هذه التغيرات بزول القوى المؤثرة عليها، ومن هذه المواد الطين والصلصال.

ج- **المواد المرنة اللدنة Elasto Plastic Materials:** هي المواد التي يحصل تغير في أحد أبعادها عن تعرضها لقوى معينة، وإذا أُزيلت هذه القوى عاد جزء من هذه التغيرات وبقي جزء آخر كتغير دائم، لتسلك هذه المواد سلوكاً مرناً ضمن مرحلة معينة من التحميل وسلوكاً لدناً ضمن مرحلة أُخرى، ومن المُلاحظ أن معظم المواد الإنشائية تقع ضمن هذا التصنيف من المواد، كالفولاذ والخرسانة والخشب.

3- الخواص الرئيسة لمواد البناء:

تعتمد متانة المنشأ وسلامته الإنشائية إلى حد كبير على جودة مواد البناء المستخدمة؛ الأمر الذي يتطلب عناية فائقة في اختيار مادة البناء المناسبة، والذي لا يمكن دون معرفة خواص المواد المُراد استخدامها وصفاتها الأساسية، فما هي هذه الصفات؟، وما مدى أهمية أخذها بعين الاعتبار عند تشييد أي مبنى؟

إن تحديد الخواص الأساسية لمواد البناء عملية بالغة الأهمية، وهنا لا بد من التنويه إلى أن هذه الخواص ليست عامة لجميع المواد، فهي تتغير تحت تأثير الظروف المختلفة، من ظروف البيئة المحيطة وغيرها..

يمكن تقسيم الخواص الأساسية لمواد البناء إلى ما يلي:

01- الخواص الفيزيائية: تحديد طبيعة تفاعل مادة ما مع البيئة الخارجية.

02-الخواص الميكانيكية: تحديد مقاومة المادة للضرر الميكانيكي.

03-الخواص الكيميائية: تحديد مقاومة المادة للتأثيرات الكيميائية المختلفة.

04- الخواص التكنولوجية: القدرة على معالجة المادة؛ بغرض تحضير المنتجات منها.

05- الخواص الحرارية: قدرة المادة على التعامل مع الحرارة من التوصيل الحراري، والعزل الحراري والتمدد..

06- الخواص الكهرومغناطيسية: تتعلق هذه الخواص بإمكانية المواد على النفاذ المغناطيسي والكهربائي..

07- الخواص الصوتية: تعامل المادة مع الأمواج الصوتية المحيطة بها، وتشمل الانعكاس الصوتي، والعزل الصوتي وامتصاص الصوت..

08- الخواص البصرية: تعامل المادة مع الأشعة المنبعثة من منبع ضوئي، وتشمل الانكسار الضوئي، والانعكاس، وامتصاص الضوء واللون..

سيتم التطرق خلال هذه المحاضرة إلى أهم الخواص الرئيسة لمواد البناء (الفيزيائية - الميكانيكية – الكيميائية).

01- الخواص الفيزيائية لمواد البناء:

- **الوزن النوعي:** قيمة حسابية تعبر عن نسبة زون الحبيبات الصلبة في المادة إلى حجمها المطلق (حجم الأجزاء الصلبة دون مسامات أو فراغات)، ويُقاس الوزن النوعي بـ غم/ سم^3، ويمكن الحصول على هذه القيم من جداول خاصة بالمواد.
- **الوزن الحجمي:** قيمة حسابية تعبر عن نسبة الوزن الطبيعي للمادة إلى حجمها الكلي الطبيعي (مع الفراغات أو المسامات)، ويُقاس الوزن الحجمي بـ كغ/م^3، ويمكن الحصول على هذه القيم من جداول خاصة بالمواد.
- **الكثافة:** نسبة المواد الصلبة في المادة؛ أي نسبة امتلاء حجم المادة بالمادة الصلبة (الكثافة أقل من الواحد بسبب وحود الفراغات).
- **درجة امتصاص المادة للماء:** نسبة امتصاص الماء أو بخاره والاحتفاظ به إلى وزن المادة الجافة.
- **امتصاص الماء:** امتصاص المادة للماء والاحتفاظ به، ويمكن أن يحصل ذلك بالتكثف عبر امتصاص الماء من بخار الماء في الهواء أو الرطوبة أو الحرارة.
- **درجة طرح المادة للماء:** قدرة المادة على التخلص من الرطوبة، وتُقاس بالنسبة المئوية %.
- **الكتامة أو النفوذية:** قدرة المادة على تمرير الماء من خلالها، تحت ضغط ثابت وخلال زمن معين.
- **مقاومة الصقيع:** قدرة تحمل المادة المشبعة بالماء لتناوب التجمد والذوبان، دون أن تضعف مقاومتها.
- **الناقلية الحرارية:** قدرة المادة على نقل الحرارة عبرها، ويؤثر في ذلك (طبيعة المادة وبنيتها – درجة المسامية – شكل المسامات وحجمها)، ويمكن الحصول على القيم الناقلية الحرارية للمواد من جداول خاصة بهذه المواد.
- **مقاومة الحريق:** قدرة المادة على تحمل النار لفترة زمينة معينة، دون أن تضعف مقاومتها الميكانيكية (أي دون نقصان شديد للمتانة).
- **مقاومة الضوء:** قدرة المادة على المحافظة على لونها، وعدم تغيره تحت تأثير الظروف المحيطة.

02- الخواص الميكانيكية لمواد البناء:

- **الإجهاد:** وهو عبارة عن مقياس لانتشار القوى أو الحمل داخل كتلة المادة بالنسبة إلى مساحة سطح المادة (Stress= Force/Area)، وللإجهاد نوعين: إجهاد ضغط (عندما يكون الحمل أو القوى ضغطاً)، وإجهاد شد (عندما يتعرض الجسم إلى قوى سحب أو شد).
- **المقاومة:** عبارة عن أقصى جهد (شد – ضغط – انعطاف..) يمكن أن تتحمله المادة، دون التعرض للفشل أو الانهيار، ونُصنف مواد البناء من ذلك إلى:

أ- مواد تعمل على الشد. ب- مواد تعمل على الضغط. ج- مواد تعمل على الشد والضغط والانعطاف.

- **الاهتراء:** تآكل الطبقة السطحية للمادة؛ بسبب الاحتكاك.
- **المرونة:** قدرة المادة على استعادة شكلها الأصلي، وأبعادها الأصلية بعد زوال القوى المؤثرة عليها.
- **اللدونة:** عبارة عن قدرة المادة على الاحتفاظ بشكلها الكامل أو الدائم، بعد حدوث التشوه الناتج عن القوى المؤثرة عليها.
- **الانفعال:** عبارة عن مقياس التشوهات في كتلة مادة البناء، من حيث الطول الأصلي أو الحجم الأصلي، حيث تُصنف التشوهات الحاصلة في المواد إلى تشوه مرن وتشوه لدن.
- **الزحف:** عبارة عن مدى انفعال المادة عند تعرضها للحرارة والزمن، تحت تأثير إجهاد دائم ومستمر.
- **الصلادة:** قدرة المادة على مقاومة الخدش، والتغلغل والتآكل.
- **قابلية السك:** قدرة المادة على التشكيل، عند وضعها في قالب وتعرضها للضغط وهي باردة.
- **قابلية اللحام:** القدرة على تكوين جسم واحد بقطعتين من معدن واحد، أو من معدنين مختلفين، عن طريق ضغطهما.

03- الخواص الكيميائية لمواد البناء:

- **التبلور:** تشكيل البللورات من المادة عند التحول من الحالة الغازية أو السائلة إلى الحالة الصلبة.
- **مقاومة التآكل:** ثبات الخواص المختلفة للمادة تحت تأثير التآكل الكيماوي.
- **مقاومة العوامل الجوية:** ثبات الخواص المختلفة للمادة والحفاظ على شكلها تحت تأثير العوامل الجوية المختلفة.
- **الحرارة الكيماوية:** قابلية اكتساب الحرارة ونشرها بفعل التفاعلات الكيماوية.
- **الإسقاء:** خاصية تتعلق بالمواد المعدنية (الفولاذ) لزيادة متانته، وتغيير خواصه التشغيلية عند معاملته بالحرارة.
- **التصلب:** زيادة مقاومة المادة للوسط المحيط، ومقاومتها الميكانيكية من خلال عمليات فيزيائية أو كيميائية.
- **الانحلال:** قدرة المادة على تشكيل محاليل كيميائية متجانسة مع محلول سائل، من الماء أو أي محلول آخر.
- **الترابط:** متانة المادة الناجمة عن قوى الترابط الداخلي ما بين جزيئاتها.
- **الالتصاق:** قدرة فصل مادة عن مادة أُخرى عندما تلتصق بها.
- **الشيخوخة:** تغير خواص المادة بسبب الزمن، وفقدان مزاياها.
- **مقاومة التعفن:** خاصية تتعلق بالمواد الخشبية، وتتم مقاومة التعفن الناتج عن الرطوبة أو العوامل البيولوجية..






المحاضرة الثالثة

الصخور (المنشأ والتصنيفات المختلفة)

تعتبر الصخور الطبيعية من أوائل المواد التي استخدمها الإنسان في البناء، وأكثرها مقاومةً للزمن، كما تشهد بذلك الحضارات السابقة، حيث تتفوق الصخور الطبيعية على مواد البناء الأخرى من حيث المظهر والمتانة، حيث استخدامها في الأبنية وأعمالها، وفي رصف الطرق وعلى جوانب قنوات المياه، كذلك يستخدم كسرها كركام سواءً للخرسانة أو لأعمال الرخام الصناعي مثل البلاط وأعمال الإكساء المختلفة.

1- دورة الصخور في الطبيعة:

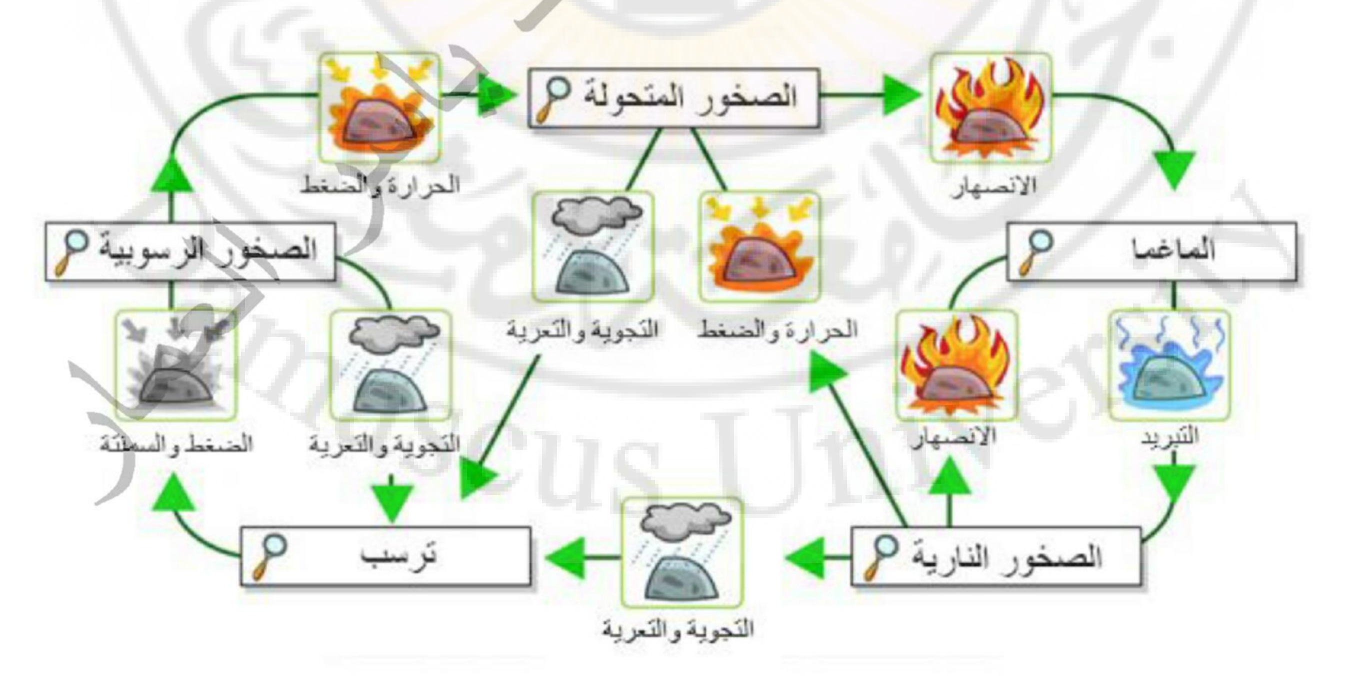
إن الصخور مجموعات من المعادن بأحجام وأنواع مختلفة، تتغير الصخور نتيجةً للعمليات الطبيعية التي تحدث بشكلٍ دائم، إذ تحدث معظم التغييرات ببطءٍ شديد، كما أن العديد من تلك العمليات يحدث تحت سطح الأرض، لذلك قد لا نلاحظ حتى التغييرات التي تحدث، وعلى الرغم من أننا قد لا نرى التغييرات، إلا أن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للصخور تتغير باستمرار في دورة طبيعية.

تم تطوير مفهوم دورة الصخور لأول مرة بواسطة جيمس هوتون James Hutton، وهو عالم من القرن الثامن عشر يُطلق عليه لقب "أبو الجيولوجيا"، والذي أدرك أن العمليات الجيولوجية "ليس لها علامة بداية ولا أمل في النهاية"، وغالباً ما تحدث العمليات المتضمنة في دورة الصخور على مدى ملايين السنين، لذا على نطاق عمر الإنسان، تبدو الصخور وكأنها صلبة كالصخر، ولا تتغير ولكن على المدى الطويل يحدث التغيير بصورةٍ دائمة.

يتم دفع دورة الصخور في باطن الأرض وخارجها عبر قوتين، وهما:

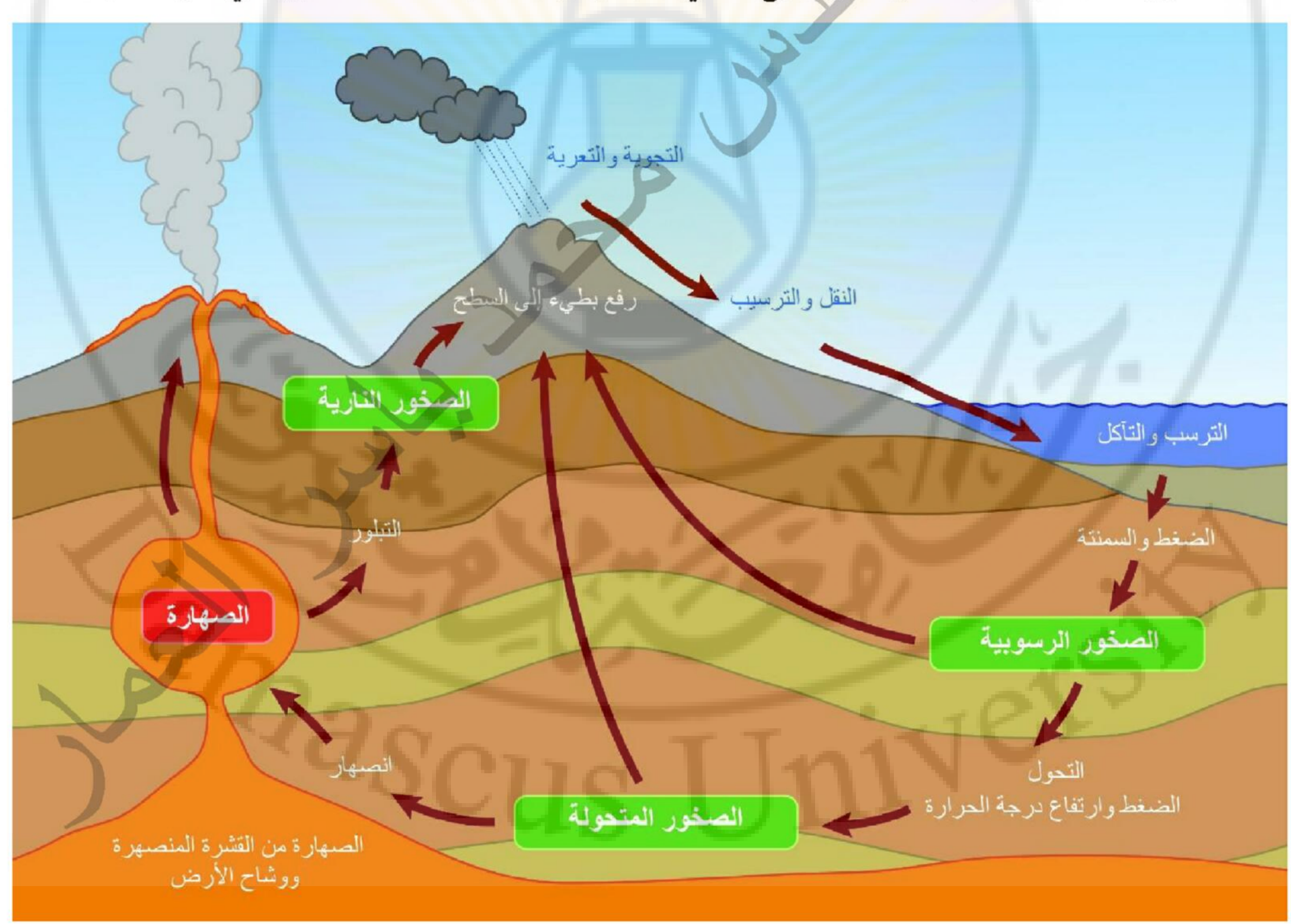
أ- **محرك الحرارة الداخلي للأرض:** الذي يحرك المواد في اللب ووشاح الأرض، ويؤدي إلى تغييرات بطيئة ولكنها مهمة داخل القشرة.

ب- **الدورة الهيدرولوجية:** وهي الحركة من الماء والجليد والهواء على السطح، إذ يتم تشغيل تلك الحركة بواسطة الشمس.



تتحول الصخور من نوعٍ لآخر عن طريق عدة عمليات مختلفة تتم عليها، وتتحدد هذه العمليات بما يلي:

- **التبلور Crystallization:** تبرد الصهارة التي تخرج من باطن الأرض، إما تحت الأرض أو على السطح وتتصلب في الصخور النارية، وعندما تبرد الصهارة، تتشكل بلورات مختلفة عند درجات حرارة مختلفة، وتخضع أشكال الصخور الناتجة لعملية البلورة، على سبيل المثال، يتبلور الزبرجد الزيتوني المعدني من الصهارة عند درجات حرارة أعلى بكثير من الكوارتز، ويحدد معدل التبريد مقدار الوقت الذي يجب أن تتشكل فيه البلورات، حيث ينتج التبريد البطيء بلورات أكبر، أما التبلور السريع فيُنتج بلورات أصغر.
- **الترسب والتآكل Sedimentation and Corrosion:** تؤدي عملية التجوية إلى تآكل الصخور الموجودة على سطح الأرض إلى قطع أصغر، وتسمى الأجزاء الصغيرة بالرواسب، وتنقل المياه الجارية والجليد والجاذبية هذه الرواسب من مكان إلى آخر عن طريق التعرية، وأثناء الترسيب ، تستقر الرواسب أو تترسب، ومن أجل تكوين صخرة رسوبية يجب أن تصبح الرواسب المتراكمة مضغوطة ومدمجة مع بعضها البعض.
- **التحول Metamorphosis:** عندما تتحول صخرة للحرارة والضغط الشديدين داخل باطن الأطنها ولكنها لا تذوب، فإن الصخرة تتحول، وقد تؤدي عملية التحول لتغير التركيب المعدني وقوام الصخرة أيضًا، وقد تحتوي الصخور الناتجة من عملية التحول على نسيج معدني جديد او تركيبة جديدة خلافًا للصخور التي تحولت منها.



2- تصنيفات الصخور:

يمكن تقسيم الصخور حسب خواصها الجيولوجية أو الطبيعية أو الكيميائية كما يلي:

أولاً: التصنيف الجيولوجي للصخور

أ- الصخور النارية (الاندفاعية) Igneous Rocks:

هي الصخور التي تتشكل تحت تأثير ضغط عالي، ودرجة حرارة عالية، وهي صخور مبلورة ناتجة عن تبريد وتصلب المواد المنصهرة، وقد تبقى هذه المواد في القشرة الأرضية وتسمى حينئذ ماغما Magma "الصهارة"، وتتراوح درجة حرارتها بين 600°-1300° درجة مئوية، أو قد تصل إلى سطح الأرض وتسمى لافا Lava، وتشكل الصخور النارية 95% من مساحة الجزء العلوي من القشرة الأرضية، جزء كبير منها مُغطىً بطبقة رقيقة من الصخور الرسوبية والمتحولة، وقد تم اكتشاف أكثر من 700 نوع من أنواع الصخور النارية، معظمها تشكل تحت سطح الأرض، وتسمى الصخور النارية التي تتكون تحت سطح الأرض -وتشكل معظم الصخور النارية بالصخور الجوفية، أما الصخور التي تتكون على سطح الأرض فتسمى الصخور السطحية.

- **الصخور النارية الجوفية Intrusive Rocks or Plutonic Rocks:** تتكون هذه الصخور عندما تبرد الماغما داخل ال أرض ببطءٍ شديد (يصل إلى آلاف أو ملايين الأعوام) إلى أن تتصلب، وهذا يسمح للمعادن بالتبلور والتشــكل على مهل، لذلك يكون حجمها كبيراً، وتتميز بنســيج حبيبي خشن، ومن أهم صخور هذا النوع:



Gabbro الجابرو — Granodiorite جرانوديوريت — Granite الجرانيت

Kimberlite كمبرلايت — Anorthosite أنورثوسيت — Diorite الديوريت

Pyroxenite بيروكسينيت

Pegmatite بيغماتيت

Peridotite بيريدوتيت

Tonalite توناليت

Syenite سيانيت

Diabase الديباز

Quartz Monzonite المونزونيت الكوارتزي

- **الصخور النارية السطحية Extrusive Rocks or Volcanic Rocks:** تتكون هذه الصخور عندما تخرج الماغما إلى سطح الأرض (وتسمى عندئذٍ لافا)، وتبرد وتتصلب بسرعة بسبب تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة نسبياً، وتتكون هذه الصخور عند ثوران البراكين، أو في شقوق الرواسب البحرية الطينية Ooze، وهذا لا يعطي بلورات المعادن فرصة للتكون، لذا تكون صغيرة الحجم، فتكون نسيجاً ناعماً أو زجاجياً، وغالباً ما تحتبس فقاعات الغازات الساخنة داخل الصخور مكونة نسيجاً فقاعياً أو حويصلياً، ومن أهم صخور هذا النوع:



Andesite أنديزيت



Rhyolite ريوليت



Basalt بازلت

Scoria سكوريا

Rhyolite ريوليت

Latite لاتيت

Dacite داسيت

Tuff التوف

Pumice الخفاف

Komatiite كوماتايت

Obsidian أوبسيديان

ب- الصخور الرسوبية Sedimentary Rock:

هي أنواع من الصخور التي تتكون من تراكم أو ترسب الجسيمات الصغيرة، أو من عمليات السمنتة للجزيئات في قاع المحيطات أو غيرها من المسطحات (تعرف عملية السمنتة بأنها أحد العمليات الرئيسة المهمة في التصخر، تتم من خلال ترسب كيميائي لذرات أو جزيئات في المياه الجوفية، لتكوين مادة بلورية جديدة بين الحبيبات الرسوبية، تشكل المعادن الجديدة تشكل المعادن الجديدة التي تملأ المسام بين حبيبات الرواسب الأصلية ، وبالتالي تعمل على تماسك وربط الحبيبات معاً)، وتسمى الجسيمات التي تشكل الصخور الرسوبية بالرواسب، حيث يتشكل الفتات الصخري عن طريق عمليات التجوية والتعرية قبل حدوث عمليات الترسيب، من ثم يتم نقلها إلى أماكن الترسيب بفعل عوامل التعرية، وتتشكل الصخور الفتاتية البيولوجية بواسطة أجسام وأجزاء من الكائنات الميتة حيث تتعلق في المياه، وتتراكم ببطء على أرضية المسطحات المائية، ويتم تجميع هذه الرواسب المتراكمة وضغطها ومن ثم تُرفع الرواسب بفعل تحركات الأرض.

تشكل الصخور الرسوبية نسبة 8% من إجمالي حجم القشرة الأرضية، وهي عبارة عن قشرة رقيقة تتكون أساساً من الصخور النارية والصخور المتحولة، حيث تترسب الصخور الرسوبية على شكل طبقات، ويمكن تقسيم الصخور الرسوبية إلى عدة أنواع اعتمادًا على العمليات المسؤولة عن تكوينها:

- **الصخور الرسوبية الفتاتية Clastic Sedimentary Rocks:** وهي صخور ذات أصل ميكانيكي (آلي)، أو مكيكانية النشأة، إذ تنشأ من تراكم الحطام أو الفتات الصخري دون تدخل عوامل كيميائيةٍ أو حيويةٍ في ذلك، وحيث تنقسم الصخور الرسوبية الفتاتية اعتماداً على حجم الفتات الصخري، ويستخدم معظم علماء الجيولوجيا مقياس حجم الحبيبات لتصنيف الرواسب، ليتم بذلك تصنيف رواسب الصخور الفتاتية إلى ما يلي:

الصخور التجميعية (كونجلوميرات) Conglomerate

يتكون الكونغلوميرات بشكلٍ كبير من الحصى دائرية الشكل، والتي يزيد قطرها عن 2 ملم، وتوجد في البيئات البحرية العميقة والضحلة والنهرية والجليدية وفي البيئات الغرينية.

بودينغ Puddingstone



البريشيا Breccias

تتكون من قطع صخرية ذات شكل حاد الزوايا ، وحجمها أكثر من 2 ملم.

ضحر البريشيا Breccias



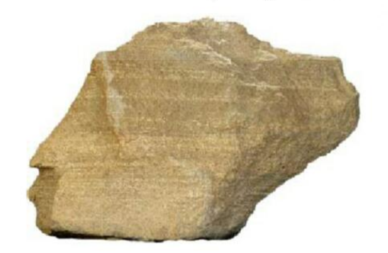
الحجر الرملي Sandstones

يتكون من حبيبات من الرمل، ويتكون من الكوارتز أو الفلسبار أو الفتات الحجري التي نشأت من الصخور الأخرى، ويتراوح حجم حبيباتها بين 0.0625 – 2 ملم، ويتكون الحجر الرملي في البيئات الأرضية والبحرية.

حجر رملي خشن Gritstone



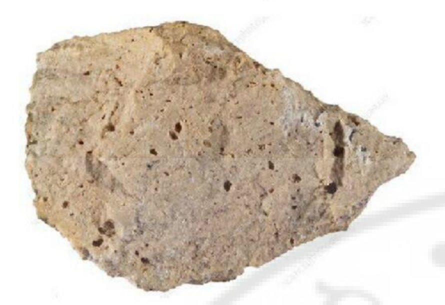
حجر رملي ناعم Soft sandstone



الصخور الطينية الغضارية Mudrocks

هي عبارة عن صخور رسوبية، تتكون من 50% على الأقل من جزيئات الطمي والطين، ويتراوح حجم حبيباتها أقل من 0.0625 ملم، وتتشكل في البيئات الرسوبية والبيئات الجليدية وغير الجليدية ودلتا الأنهار والمناطق الساحلية والبيئات البحرية، وأهمها الصلصال (الطين) والطَفْل Shale، اللذان يتكونان من حبيبات معدنية دقيقة جداً، قطر الحبيبة الواحدة منها أقل من 16/1 مم فإن كل قطر حبيبة الحجر عن 256/1 ملم، فهو الصلصال، أما ما هو أعلى من ذلك ودون 16/1 ملم فهو الطفْل.

Mud – Clay الطين



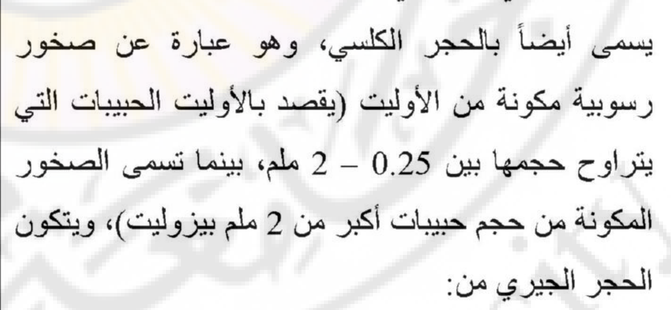
مارل أو مارن Marl (صخر طيني كلسي)



- **صخور رسوبية غير فتاتية (صخور كيميائية) Nonclastic Sedimentary Rocks:**

تتكون الصخور الرسوبية الكيميائية بفعل حركة المياه حول الصخور، وتقوم على انحلال بعض المعادن، وينتج عنها ترسيب كيميائي، وغالباً ما تتشكل الكهوف داخل الأرض بفعل نحت المياه للصخور، وتشمل الصخور الرسوبية الكيميائية على ما يأتي:

الحجر الجيري الصخري Limestone:



يسمى أيضاً بالحجر الكلسي، وهو عبارة عن صخور رسوبية مكونة من الأوليت (يقصد بالأوليت الحبيبات التي يتراوح حجمها بين 0.25 – 2 ملم، بينما تسمى الصخور المكونة من حجم حبيبات أكبر من 2 ملم بيزوليت)، ويتكون الحجر الجيري من:

كربونات الكالسيوم، والفوسفات، والطين، والدلوميت أو معادن الحديد، والهيماتيت، والشِرْت (عقد أو درنات مدفونة في الصخور الجيرية، وتبرز خارجها عند غمر الحجر الجيري بالماء)



المتبخرات

وهي الرواسب المعدنية القابلة للذوبان في الماء والذي ينتج عن التركيز والتبلور عن طريق التبخر من محلول مائي، وتتألف من الرواسب المتبخرة البحرية التي يمكن وصفها بأنها رواسب محيطية، وتتكون من الرواسب المتبخرة الغير بحرية التي توجد في المسطحات المائية الدائمة مثل البحيرات.

الهاليت Halite



السيلفيت Sylvite



الباريت Baryte



الجبس (الجص) Gypsum



- **الصخور الرسوبية العضوية Organic Sedimentary Rocks:**

تتكون هذه الصخور من بقايا النباتات والحيوانات المدفونة، على سبيل المثال؛ تتشكل معظم أنواع الحجر الجيري من الهياكل العظمية الجيرية للكائنات الحية مثل الشعاب المرجانية والرخويات والمنخربات Foraminifera (نوع من الخلايا الأولية ظهرت أول ماظهرت منذ نحو 530 مليون سنة على الأرض في مناطق مائية، تميز بأن لها غلاف محاري)، ويتكون الفحم من الصخور الرسوبية العضوية من بقايا النباتات الموجودة في المستنقعات الساحلية، حيث تخضع الرواسب في بعض الصخور الرسوبية العضوية، وتشكلت رواسب الصخر الصواني من تراكم الهياكل العظمية للكائنات المجهرية مثل الشعريات والدياتومات (كائنات خية وحيدة الخلية).

ج- الصخور المتحولة Metamorphic Rock:

تتشكل الصخور المتحولة عادةً في باطن الأرض أو عند التقاء الصفائح التكتونية، حيث تتعرض الصخور لمجموعة من العوامل التي تُغير بشكل جوهري من شكل وتركيب الصخور، ومن هذه العوامل: درجة الحرارة المرتفعة، أو الضغط المرتفع، أو السوائل الغنية بالمعادن الساخنة، حيث تتحول الصخور النارية أو الصخور الرسوبية تحت تأثير الضغط والحرارة، تشمل هذه التحولات إعادة التبلور والتفاعلات الكيميائية بين المكونات المعدنية للصخر (التي تحدث أساساً في الحالة الصلبة)، إلا أنه قد يحدث بعض التبادل الكيماوي مع السوائل وخاصة الماء (H2O)، وبذلك تكون الظروف التي تتكون فيها الصخور المتحولة ظروفاً متوسطة ما بين ظروف تشكل الصخور الرسوبية على السطح وظروف تبلور الصخور النارية من الصهير.

تتحدد أنواع الصخور المتحولة فيما يلي:

- **الصخور المتحولة الوريقية Foliates Metamorphic Rocks:**

تتشكل الصخور المتحولة الوريقية تحت ضغط مباشر أو إجهاد قص، وتتكون عادةً من كميات كبيرة من معادن الميكا والكلوريت، ولهذه المعادن انقسامات مميزة جداً، حيث تنقسم الصخور المتحولة المورقة على طول خطوط الانقسام الموازية للمعادن التي تتكون منها الصخور،وللنسيج الوريقي أنواع عدة منها ما يلي:

- **صخور قوية التصفح Strongly Foliated Rocks:**

النسيج المتصفح الإردوازي Slaty.

النسيج الفليتي Phyllitic.

النسيج الشستوزي Schistose.

- **صخور ضعيفة التصفح Weakly Foliated Rocks:**

النسيج المتطبق نايسوزي Gneissic.

نسيج متصفح مايلونايتي Mylonitic Texture.

تصفح ضعيف Weakly Foliated.

صخور قوية التصفح Strongly Foliated Rocks

النسيج المتصفح الإردوازي Slaty

الصخور التي تمتلك النسيج الإردوازي تمتلك حبيبات دقيقة الحجم من الصعب رؤيتها بالعين المجردة، وتكون ذات سطوح باهتة لا تُظهر أي بريق، ويُمكن أن تنقسم بسهولة.

الإردواز Slate



النسيج الفليتي Phyllitic

تتشابه الصخور التي تمتلك النسيج الفليتي مع تلك التي تمتلك النسيج الإردوازي في كونها تتألف من حبيبات صغيرة الحجم، ولكنها تظهرعلى شكل خطوط مموجة أو مجعدة ذات سطحوح لامعة، ويُمكن أن تنقسم بسهولة، كما أن صخور النسيج الفليتي يختلف مظهرها عن الصخور الأصلية بقدرٍ أكبر من صخور النسيج الإردوازي.

الفايلايت Phyllite

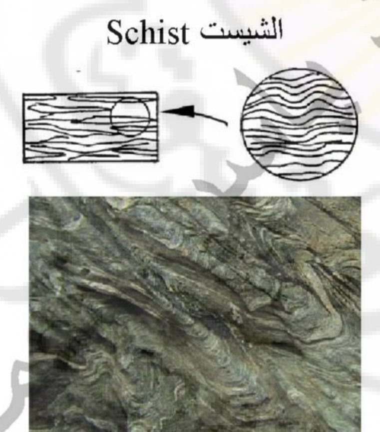




النسيج الشستوزي Schistose

تتميز صخور النسيج الشستوزي بحبيباتها المرئية الواضحة للعين المجردة، وفي الغالب تتشكل من المعادن الصفائحية مثل الميكا، وتختلف صخور النسيج الشستوزي في مظهرها عن الصخور الأصلية بقدرٍ أكبر من صخور النسيج الفليتي، وقد تتكون هذه الصخور من مجموعة متنوعة من الصخور الأم.

الشيست Schist

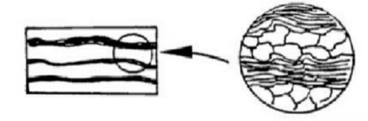


صخور ضعيفة التصفح Weakly Foliated Rocks

النسيج المتطبق نايسوزي Gneissic

يعرف بأمنه تتابع الطباقي لنطاقات داكنة ونطاقات فاتحة، وينشأ هذا النوع تحت درجات التحول الإقليمي العالية جداً، حيث يؤدي الارتفاع العالي للضغط والحرارة إلى انفصال المعادن الموجودة ضمن الصخر وتجمعها في نطاقات متتابعة.

النايس Gneiss





نسيج متصفح مايلونايتي Mylonitic Texture

وهو تصنيف يعتمد على المظهر النسيجي للصخرة، والناشئ من التفتت العنيف لصخور سابقة انتابها التصدع الناتج من حركات الطي، حيث تتم إعادة التبلور الديناميكي للمعادن المكونة، مما يؤدي إلى تقليل حجم حبيبات الصخر، يمكن أن تحتوي الصخور على العديد من التركيبات المعدنية المختلفة

المايلونايت (الصخر الهشيم) Mylonite



تصفح ضعيف Weakly Foliated

صخور مركبة تتكون من مكونين أو أكثر، غالباً ما يتم تكراره في طبقات: طبقة واحدة عبارة عن صخور متحولة قديمة أعيد تشكيلها لاحقًا عن طريق الذوبان الجزئي، بينما تتميز الطبقة البديلة بمظهر بيغماتي ، أو أبليتي، أو جرانيت، أو بشكل عام بلوتوني (نيوسوم). بشكل عام ، تحدث المهاجرة تحت الصخور المتحولة المشوهة التي تمثل قاعدة سلاسل الجبال المتآكلة على شكل أوردة مطوية بإحكام وغير متماسكة.

مِجماتيت Migmatite

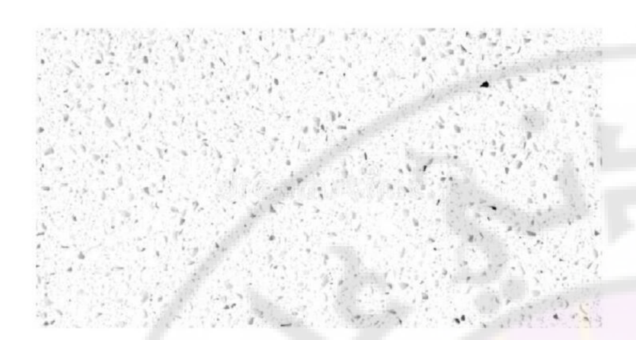


- **الصخور المتحولة غير الوريقية (غير متصفح - تحول معدني / كيميائي) Nonfoliated Texture:**

تتشكل الصخور المتحولة غير الوريقية دون التعرض إلى ضغط مباشر أو بالقرب نسبياً من سطح الأرض، حيث يكون الضغط قليل جداً، ولا تظهر بالضرورة بالشكل الوريقي على الرغم من تعرضها للضغط المباشر؛ ويرجع ذلك إلى أن معادنها الداخلية (أي الكوارتز والكالسيت) لا تنتظم في خطوط تُظهر الشكل الوريقي للصخر. تتشكل هذه الصخور تحت ظروف الضغط المنخفض أو تحت تأثير الضغط الحاصر المتساوي في جميع الاتجاهات مما يجعلها لا تبدو وريقية المظهر، وفي معظم الحالات يكون هذا بسبب عدم دفنها بعمقٍ كافٍ،

ويجدر بالذكر أن حرارة التحول في هذا النوع من الصخور تأتي من الصهارة، التي انتقلت إلى الجزء العلوي من القشرة، حيث يُسمى التحول الذي يحدث بسبب القرب من الصهارة باسم التحول التماسي، ويوجد العديد من الأمثلة على الصخور المتحولة غير الوريقية منها ما يلي:

الرخام Marble





الكوارتز Quartz



صخور القرنية Keratophyre



الهورنفلس Hornfels

ثانياً: التصنيف الطبيعي للصخور

يتكون هذا التصنيف حسب تكوين جسم الحجر:

أ- **صخور طبقية:** هي صخور ترسبت في طبقات أفقية أو مائلة أو منحنية، تبعاً لظروف الترسيب مثل الحجر الرملي.

ب- **صخور غير طبقية:** هي صخور تكونت من جزيئات التصقت واتحدت مع بعضها، لتكون الصخر مثل الجرانيت والبازلت.

ثالثاً: التصنيف الكيميائي للصخور:

يتكون هذا التصنيف حسب التركيب الكيميائي للصخر:

أ- **صخور سيليسية:** تتكون رئيسياً من السيلكا (ثاني أوكسيد السلكون) مثل الحجر الرملي.

ب- **صخور طينية:** تتكون من مواد طينية، مثل سليكات الألمنيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم، مثل الحجر الطيني.

ج- **صخور جيرية:** تتكون رئيسياً من كربونات الكالسيوم، وأحياناً متحدة مع المغنسيوم مثل الحجر الجيري والرخام.



المحاضرة الرابعة

الأحجار "التصنيف – تكنولوجيا الصناعة"

يطلق مصطلح الحجر على كل مادة صخرية تستخدم لأغراض البناء، حيث تتكون القشرة الأرضية من صخور وأحجار، فالصخر والحجر كلمتان متداخلتان في المعنى العام كثيراً، لكن لعلماء الجيولوجيا رأي أخر، ألا وهو ضرورة تخصيص معنىً واضح لكل كلمة من الناحية العلمية، فالصخر عندهم هو المكون الأساسي والأولي للقشرة الأرضية، وهو ينشأ مباشرة من تصلب الماجما (الصُهارة)، الصّاعدةِ من الأعماق البعيدة تحت القشرة، أما الحجر بالمعنى الجيولوجي فهو الحُطام أو الفتات المتصلب أو السائب، وقد يتكون من البقايا الصلبة المتحجرة للأحياء القديمة (الحفريات)، أو يترسب كيميائياً من المياه السطحية أو الباطنة.

1- التصنيفات المختلفة للحجر:

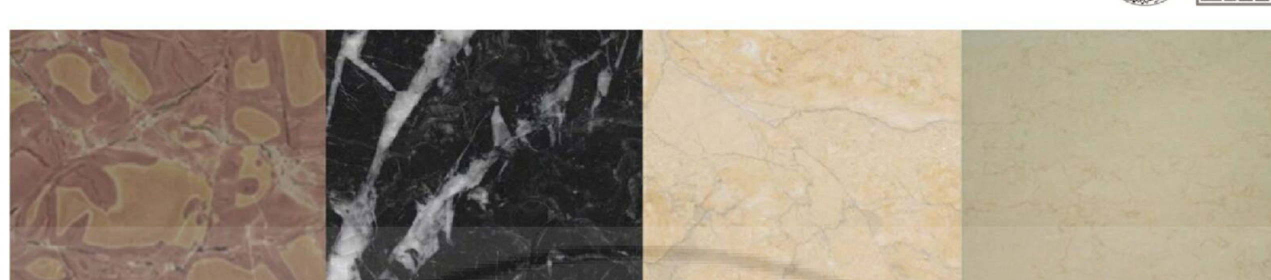
تتعدد تصنيفات الحجر المستخدم في البناء، وذلك فقاً لما يلي:

أ- منطقة الاستخراج ب- الخصائص والميزات ج- موضع الاستخدام د- طريقة معالجة السطح

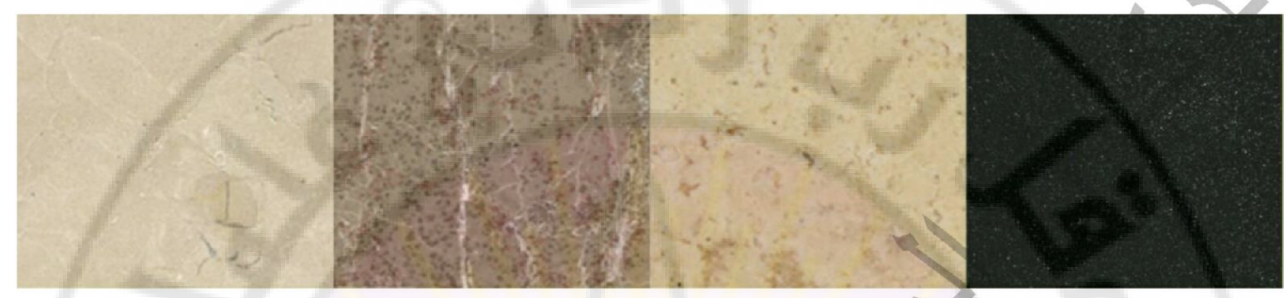
أ- تصنيف الحجر وفقاً لمنطقة الاستخراج:

تم الاعتماد على تصنيف الأحجار وفقاً للمنطقة التي تم استخراج منها، مثالاً على ذلك أسماء الأحجار المسماة محلياً في سورية:

- **الحجر البدروسي:** المُستخرج من مقالع البدروسية (60 كم شمال محافظة اللاذقية)، وهي صخور دولميتية.
- **الحجر الكسبي:** المُستخرج من مقالع كسب (65 كم شمال غرب محافظة اللاذقية)، وهي صخـور كلســية.
- **الحجر الكلسي:** المُستخرج من مقالع كلس (70 كم شمال شرق محافظة اللاذقية)، وهي صخور كلسية دولميتية متحولة.
- **الحجر البرزاوي:** المُستخرج من مقلع برزة (عرب مدينة دمشق)، وهي صخور كلسية دولميتية تتخللها عروق بيضاء من الكالسيت.
- **الحجر الحلبي:** المُستخرج من مقالع في منطقة عفرين وراجو (شمال غرب مدينة حلب) وهي عبارة عن صخور كلسية بيتومينية.
- **الحجر الرحيباني:** المُستخرج من مقالع الرحيبة (50 كم شمال شرق مدينة دمشق)، وهي صخور كلسية دولميتية تحتوي على ستيلوليت.
- **حجر عين الشرقية:** المُستخرج من مقالع عين الشرقية (30 كم جنوب شرق مدينة جبلة في محافظة اللاذقية، على طريق الساحل – الغاب)، وهي عبارة عن صخور كلسية دولميتية.
- **الحجر التدمري (أبو الفوارس):** المُستخرج من مقالع أبو الفوارس (14 كم شمال غرب مدينة تدمر)، وهي عبارة عن صخور كلسية غضارية.
- **الحجر التدمري (السكري):** المُستخرج من مقالع السكري (جنوب شرق مدينة تدمر، على طريق تدمر دمشق)، وهو عبارة عن ترافرتان.
- **حجر مصياف:** المُستخرج من مقالع كسب على الجبل الأقرع في محافظة اللاذقية.



الحجر البدروسي الحجر الكسبي الحجر الكلسي الحجر البرزاوي



الحجر الحلبي الحجر الرحيباني حجر عين الشرقية الحجر التدمري

ب- تصنيف الحجر وفقاً للخصائص والميزات:

يتم تصنيف الحجر وفقاً للخصائص والميزات اعتماداً على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية التالية:

- الوزن النوعي - الامتصاص - معايير التمزق - مقاومة التأكل - الاختبار بالنظر

كما يؤثر التركيب الكيميائي للحجر على خصائصه، وكذلك على مظهره الخارجي، مثالاً على ذلك الرخام، فيكون أبيض اللون إذا كان خالياً من الشوائب، أما إذا وُجدت به شوائب فإنه يأخذ ألوان مختلفة، والشوائب الطبيعية الموجودة بالرخام هي المسؤولة عن تنوع ألوانه حيث تتحول هذه الشوائب إلى مواد ثابتة فنجد أنّ:



- السيليكا والطفلة clay تتحول إلى بلورات كوارتز بيضاء أو عديمة اللون.
- الألبيت ومعادن السيلكا والكربون الذي ينتج من المواد العضوية الموجودة يتحول الى جرافيت اسود.
- هيدروكسيد الحديديك يتحول إلى بلورات حمراء من الهيماتيت.

ويأخذ الرخام لونه النهائي وفقاً لما يلي:

- اللون الأخضر عند وجود السربنتين، ويسمى الرخام المحتوي على السربنتين سواء بنسبة قليلة أو كبيرة باسم (أوفي كالسيت) أو الرخام السربنتيني.
- اللون الأسود بسبب وجود البايوتيت والهورنبلند والأوجيت.

- درجات اللون الأصفر إلى البرتقالي بسبب الكوارتز ومعادن الميكا.
- اللون الأحمر المتمثل في الهيماتيت بسبب أكاسيد الحديد.
- اللون الأخضر بسبب أكاسيد الحديد الخضراء، فهي نادرة في الرخام وتتكون في الظروف التي يقل فيها الأكسجين.
- اللون الأحمر الأرجواني بسبب وجود أكاسيد المنجنيز.
- اللون من الرمادي الفاتح بسبب وجود المواد العضوية والمحتوية على الكربون ضمن مكونات الرخام.
- يتحول اللون من الأحمر البني إلى اللون الأصفر في حالة تميؤ الرخام، وهو يمثل الليمونيت.

كما يمكن تصنيف الأحجار كيميائياً، حسب تأثرها بحمض الكلور، وهذا التأثير له علاقة بالتركيب المعدني للصخر، لتظهر الأحجار كما يلي:

- الأحجار التي تتأثر تأثراً تاماً بحامض الكلور، وهي الكلسية.
- الأحجار التي تتأثر قليلاً بحامض الكلور، وهي الرملية.
- الأحجار التي لا تتأثر بحامض الكلور، وهي باقي الأحجار.

ج- تصنيف الحجر وفقاً لموضع الاستخدام:



البلاطات والألواح الحجرية: يمكن استخدام البلاطات والألواح الحجرية لأغراض الإنشاء أو الإكساء، وذلك بأنواع مختلفة من الصخور (الغرانيت – الغابرو – الكوارتز – السينيت..)، إذ تعتبر ألواح الجرانيت المشكلة لجسر Clapper في بريطانيا من أهم الأمثلة على ذلك.



الوحدات الحجرية: يتم استخدام الوحدات الحجرية بشكلها الحر (كما هي في الطبيعة) أو بتنظيم وفقاً لأشكال هندسية مستطيلة في معظم الأحيان، بأبعاد مختلفة، إذ تم استخدام وحدات حجرية يصل وزن القطعة منها إلى ما يقارب 100كغ.

الأعمدة الحجرية: تم اللجوء إلى الأعمدة الحجرية بمقاطع متعددة، وذلك لأغراض الإنشاء تارةً ولأغراض جمالية تارةً أُخرى (أعمال الإكساء)، حيث اشتهرت حضارات الشرق الأوسط بذلك، خصوصاً عند المصريين القدماء.

الكرات الحجرية: قطع تزيينية من أجل الطرقات والواجهات والبحرات.

الكرانيش والأفاريز: تظهر باستخدامات تزيينية، وتوضع إما أفقياً على واجهات الأبنية، أوتشكل بروزاً في جدار الخارجي للبناء مع مدمعة مطرية للحماية من مياه الامطار، أو على محيط الفتحات.



د- تصنيف الحجر وفقاً لطريقة معالجة السطح:

تختلف طريقة معالجة السطح بالاسلوب المتبع، والتي تظهر وفق طريقتين: الطرق أو القص والصقل.

- **معالجة سطح الحجر بالطرق (يدوياً أو ميكانيكياً):**

الحجر ذو السطح الصخرى Quarry Face Finish (حجر البروزات الكبيرة / حجر الطبزة): سُمي هذا الحجر بهذا الاسم لأن نقشته تكون على شكل بروزات متباعدة وكبيرة وواضحة، وفي الغالب يُترك هذا الحجر على طبيعته دون نقش، باستثناء تنظيم بسيط لسطحه، يكون ليظهر سطح الحجر مدبب أو متموج من خلال إزالة الزوائد الحادة، والظاهرة بشكلٍ غير لائق، وقد يصل عمق سطحه إلى 50 مم أو أكثر، ويتم الحصول عليه يدوياً أو بواسطة آلات خاصة، ويمكن أن يكون من الحجر القاسي أو متوسط القساوة وأحياناً الطري.

الحجر المنقّر (الملطش): وهو الحجر ذو النقشة المتوسطة، حيث يتم تنقير السطح باستخدام أداة خاصة تسمى الشوكة المدببة، موزعاً توزيعاً منتظماً قدر الإمكان، على ألا يزيد عمق التنقير عن 3ملم.

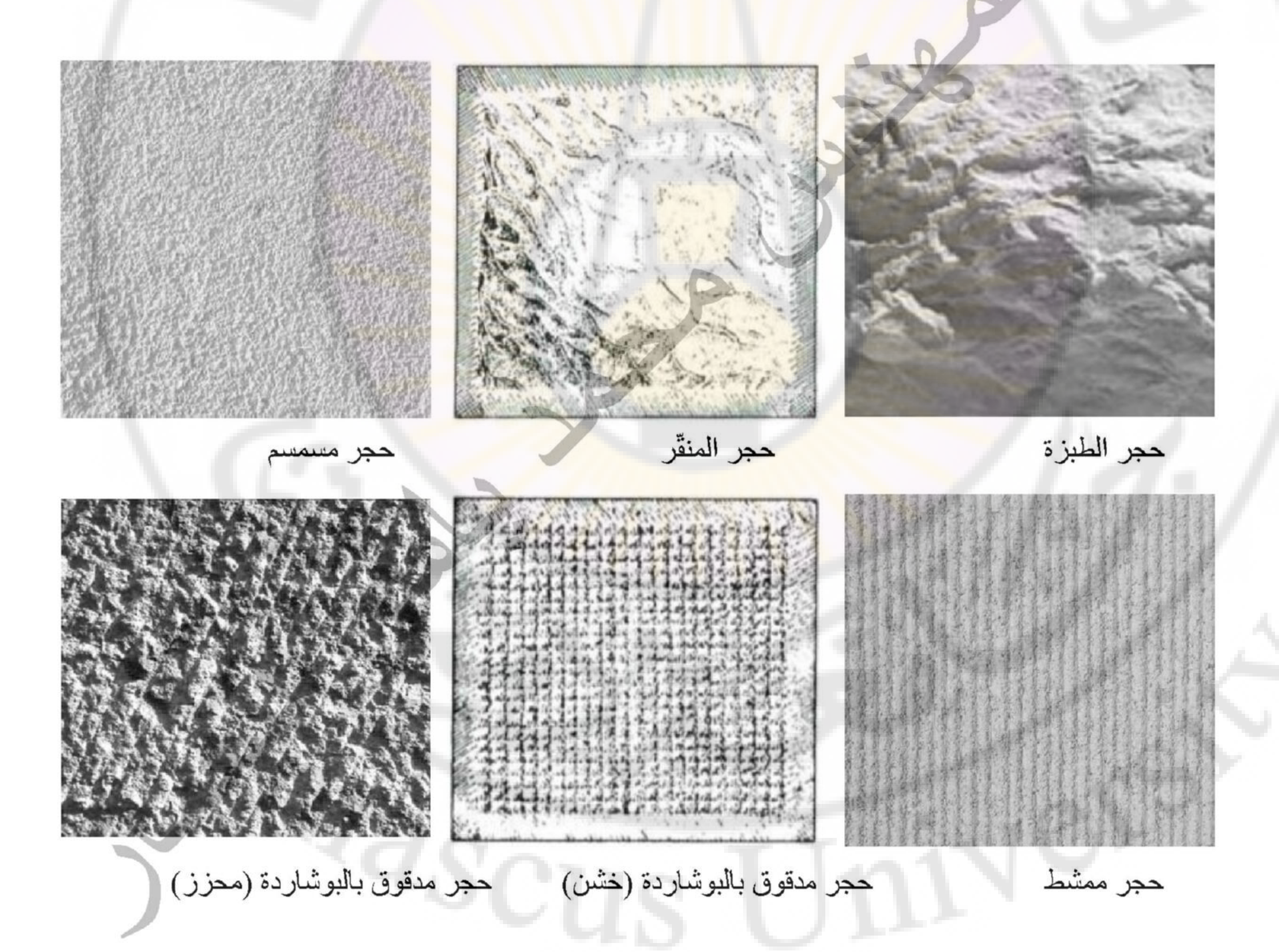
الحجر ذو النقشة الناعمة (مسمسم): سمّي هذا لحجر بهذا الاسم، نسبةً إلى النقشة الناعمة التي يتم نقشها على سطحه، وذلك من خلال تنظيم السطح، وضربه باستخدام أداة الإزميل على شكل خطوط مرتبة ومتقاربة أفقية أو عامودية، ويكون فيها العمق من(0.5-0.2 مم)، تستخدم هذه الأحجار في الإكساءات الخارجية تضيع قسماً من التضاد اللوني والضوئي.

الحجر المرتب / الممشط: يتم عمل هذا النوع بالأحجار الرملية فقط، لأنها أطرى من باقي الأحجار، حيث سهولة الترتيب والنقش، إذ يتم نقشه بأداة خاصة تسمى المشط، تسوي السطح وتنظمه.

الحجر المدقوق بالبوشاردة Bush hammered Finish: نميز منه نوعين

السطح الخشن: يتم طرق سطح الحجر بشكل شاقولي ومستمر، وذلك باستخدام المطرقة اليدوية المسماة مطرقة البوشاردة، أو بواسطة آلة خاصة تمتاز عن الطرق اليدوي بأنها تعطى ثقوبا منتظمة، ويمكن تمييز نوعين حسب العمق (1-2 ملم) و(0.5-0.7 ملم).

السطح المحزز: نفس السابق، إلا أنه يكون بخطوط شبه أفقية.



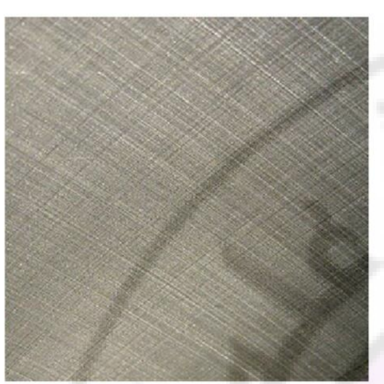
حجر الطبزة — حجر المنقّر — حجر مسمسم

حجر ممشط — حجر مدقوق بالبوشاردة (خشن) — حجر مدقوق بالبوشاردة (محزز)

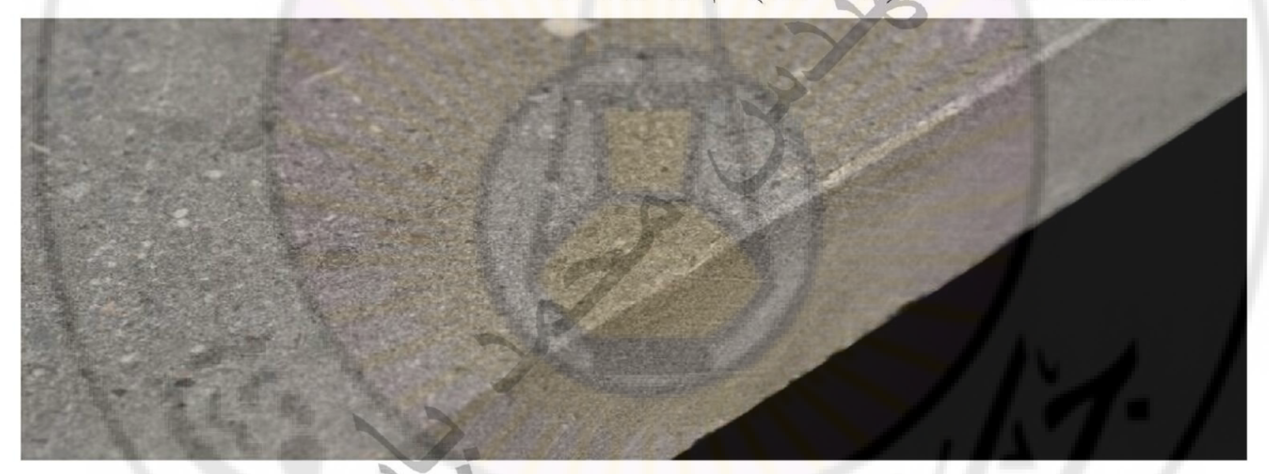
- **معالجة السطح بالقص والصقل:**

السطح المنشورSawn\Cut Finish: يتصف بالاستواء مع خطوط دقيقة، حيث تظهرنتوءات وأسنان يصل عمقها حتى 3 ملم (آثار ضربات الديسك)، ويُستخدم هذا النوع من السطوح في أعمال الإكساء، وغالباً ما يتم برشها بعد التركيب لتأمين سطح مستوٍ مع غيرها.





السطح المصقول Honed Finish: وهو السطح السابق بعد أول درجة من المعالجة، حيث تظهر عليه آثار أداة المعالجة وبروزات ونتوءات من (0.5 – 0.2) ملم، ويتميز بتشتيته للضوء.



السطح المسحوج Planed Finish: يكون بعد آخر درجة من درجات السطح المصقول، ويتميز ببريق خفيف، وتغيب عنه آثار آلة التلميع.



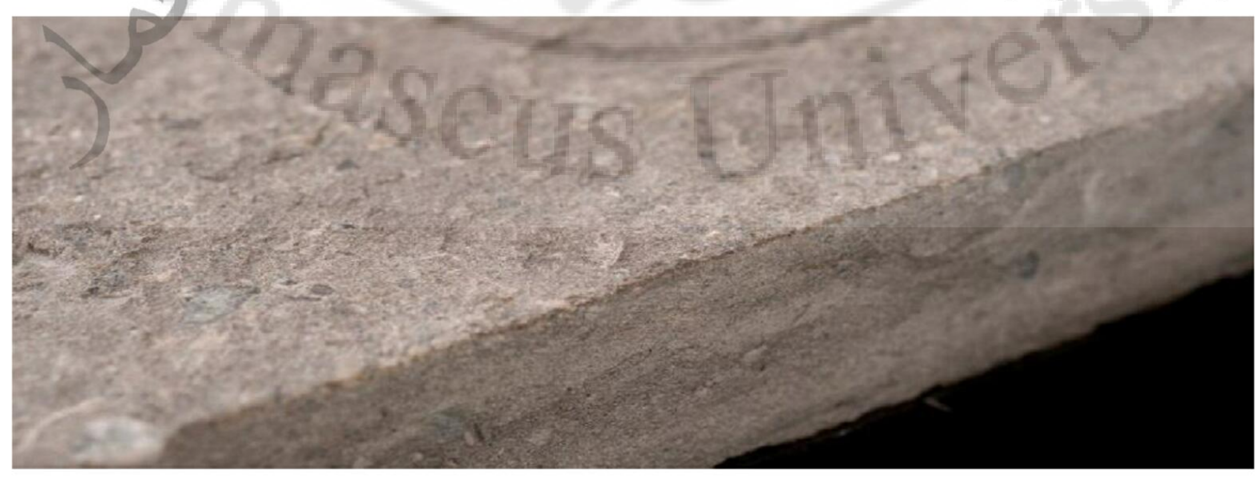
السطح اللماع Polished Finish: ويكون آخر درجة من درجات معالجة هذا النوع من الأحجار، ويتميز بسطح كالمرآه.



السطوح المعالجة بالضرب بالرمل Sand-blasted Finish: يتم الحصول عليه بواسطة ضربه بالرمل مع تيار هوائي، وهو سطح خشونته دقيقة جداً مقارنةً بالمنكش، ويعتبر مناسبا لمنعه للانزلاق.



السطح الخشن (المنكش) Flamed Finish: يتم الحصول عليه بواسطة تيارات عالية الحرارة، عن طريق فتائل قوية تؤدي إلى فصل جزيئات دقيقة من الحجر الطبيعي، وهذا ما يؤدي إلى قشر الطبقة السطحية، ليعطي ذلك الحجر خشونةً دقيقةً، تظهر في هذا النوع من المعالجة عيوب الحجر، وخاصةً العروق حيث تُملأ بمادة باردة أو ساخنة مع ملونات.



2- تكنولوجيا صناعة الحجر:



تعتمد تكنولوجيا صناعة الحجر على عملية الاستخراج من المحجر (الموقع)، الذى يتم فيه أخذ القطع الخام، وذلك بتكسيرها إلى أحجام صغيرة، مثل محاجر الاسمنت والطفلة والحجر الجيري، أو تقطيعها الى وحدات (بلوكات) مثل محاجر الرخام والجرانيت، ويجب أن يحتوى المحجر على فتحة واحدة على الاقل لدخول وخروج عربات النقل المحملة للخام، ولكي يتم استخراج الأحجار داخل حدود المحجر لا بدّ من توافر المعدات التالية:

- ضاغط هواء، ويستخدم لضخ الهواء المضغوط اللازم لعمليات تخريم الخامة.
- مطرقة تخريم، إذ يتم توصيلها بضاغط الهواء عن طريق خراطيم مقاومة للضغوط العالية للحفر.
- مادة فاصلة القطع الحجرية عن جسم الصخر (الجبل)، وعادةً ما تكون مادة متفجرة وسلك موصل للموجات الانفجارية ومصدر للطاقة الانفجارية.
- ونش لنقل المنتجات على عربات النقل من داخل جسم الصخر.
- حفّار للمساعدة في عملية الاستخراج.
- جهاز خاص بنقل الأتربة والنفايات والمواد الناتجة عن عملية الاستخراج بعيداً عن الموقع.
- سيارات نقل.
- مولدة كهربائية.

تتحدد تكنولوجيا صناعة الأحجار بمجموعة من المراحل، كما يلي:

أ- مرحلة التنقيب والبحث:

يتم البحث عن المواقع، التي تحتوي صخور ذات صفات محددة من ناحية الصلابة والكثافة واللون.

ب- تجهيز موقع العمل:



عند بدء العمل في المحجر لأول مرة فإن ذلك يتطلب تجهيز الموقع، لاستيعاب العمال والآلات والمعدات اللازمة لعملية الاستخراج، حيث يتم رفع الصخور والرمال الموجودة في أرضية المحجر، ثم يتم تجهيز واجهة المحجر عن طريق نسف البروزات والنتوءات الموجودة على واجهة الجبل.

ج- استخراج البلوكات:

بعد أن يتم تجهيز واجهة المحجر، يبدأ العمل على استخراج البلوكات من الواجهة، بالتزامن مع تكملة تجهيز بقية المحجر عن طريق عمل مصاطب، وذلك لإتمام عملية ثم تقطع كتل كبيرة منتظمة من الصخور بواسطة آليات مصنعة خصيصاً لهذه الغاية، وتتوقف طريقة الاستخراج وفقاً لما يلي:

- حالة تواجد الأحجار في الطبيعة (على سطح الأرض أو في باطن الأرض).
- التراكيب.
- كمية الخام.
- درجة الصلابة الجيولوجية المصاحبة للخام.

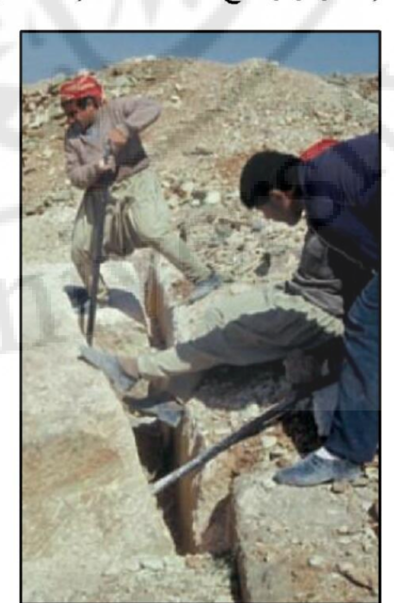
لذا فيتم استخراج الأحجار التي توجد فوق سطح الأرض بطريقة المنجم المكشوف، وهناك عدة طرق لاستخراج الخام، إما على شكل كتل، ليتم بعد ذلك نشرها وتقطيعها إلى ألواح، أو على شكل دبش يتم تقطيعه أو تكسيره لاستخدامه في أعمال الإكساء.

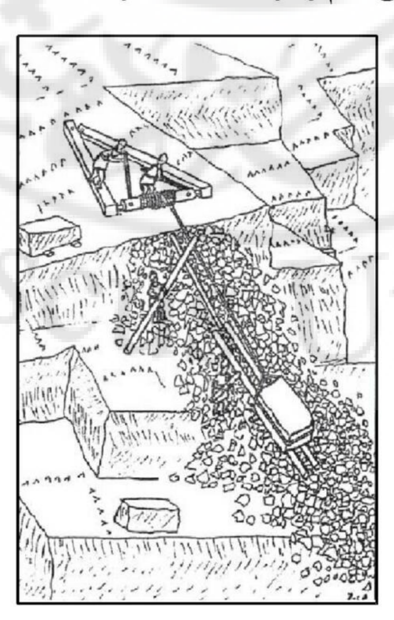
يتم فتح واجهة المحجر لمعرفة التراكيب الجيولوجية (فوالق / شروخ / طيات ..الخ)، وكذلك تحديد سمكها، لاتباع أفضل الطرق المناسبة للاستخراج، _حيث يمكن إجراء عملية الاستخراج بعدة طرق، فيما يلى وصف لكل طريقةٍ على حدى:

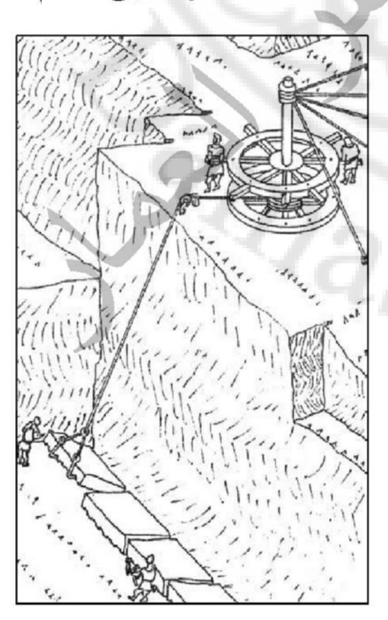
<u>الطريقة اليدوية في الاستخراج:</u> تعتبر هذه الطريقة من أقدم الطرق المستخدمة لاستخراج الأحجار، وقد كانت مستخدمة حتى وقتٍ قريب، اعتماداً على اسـتخدام المطرقة والإسـفين، وتتم بالمراحل التالية:

- يقوم العامل بعمل شبكة من الأخرام الرأسية والأفقية، وذلك بالطَرق حتى يتم عمل فواصل.
- يتم بعد ذلك فصل الكتل عن بعضها عن طـريق زحزحتها باسـتخدام الأسافين والزلاجات.
- يتم إنزال البلوك المفصول بواسطة التجهيزات الموجودة (الونش).

وتتحدد مزايا هذه الطريقة بالحصول على كتل كبيرة يمكن تقسيمها حسب الطلب، أما عيوبها فتظهر في بطء الإنجاز وارتفاع التكاليف، بالإضافة إلى عدم وجود العمالة المدربة الكافية، لذا فقد آلت هذه الطريقة إلى التقادم.



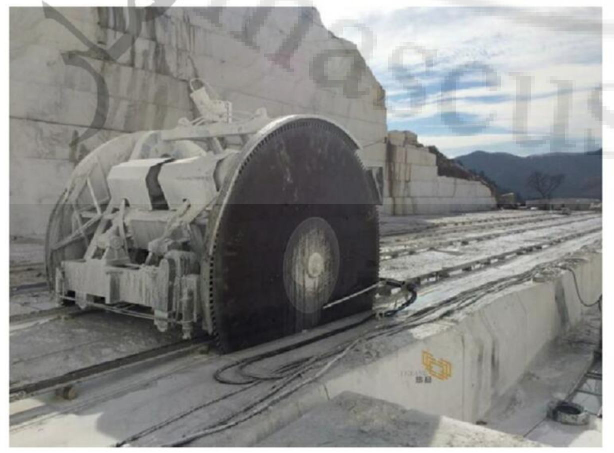




الاستخراج بطريقة التفجير: عندما تبدأ عملية التفجير، فإن الموجات تنتشر على هيئة دوائر قطرية بعيداً عن مركز التفجير، مسببةً موجات تضاغطية عالية على الصخر، وعندما تقابل هذه الموجات سطحاً فاصلاً (وهو السطح الذي يفصل بين حدود الجبل والهواء الخارجي)، فإن الجزء القليل من هذه الموجات يستمر في نفس مساره كطاقة مهدورة غير مفيدة في عملية التفجير، أما الجزء الأكبر فهو يرتد نتيجةً لوجود السطح الفاصل، مسبباً موجات شد في عكس اتجاه موجات الضغط السابقة، وعند حدوث الانفجار تتولد غازات وأبخرة تسبب ضغطاً عالياً، يساعد في توسيع الشروخ الموجودة بالصخر، مما يؤدى إلى زيادة تكسير الصخر ودفعه للأمام، فتتم بذلك عملية فصل الصخر عن الجبل، وتمتاز هذه الطريقة باعتبار التفجير من أهم الوسائل المستخدمة في استخراج الأحجار، حيث أن بدون هذه الطريقة فان العمل في المحجر يعتبر إهداراً للمال وللطاقات البشرية، مقارنةً بالوسائل اليدوية القديمة.

الاستخراج بطريقة الصدم الكهربائي: وهي أحدث الطرق المستخدمة في العالم الآن، حيث تقوم هذه الطريقة على نظرية التفجير مع استبدال المعدات المستخدمة فيه بسلك الكرافتين، ومصدر الطاقة المولدة للانفجار، ونوع الموجات المسببة لعملية الفصل، كمصدر رئيسي لتوليد الطاقة، وفي هذه الطريقة يستخدم مولد كهربائي موصول بكبسولة التفجير، والتي تؤدي إلى إشعال المادة المتفجرة، والموجودة في قاع الكبسولة، مسببةً إرسال الموجات الانفجارية عبر أسلاك خاصة إلى المناطق المراد تفجيرها بداخل الثقوب، تمتاز هذه الطريقة بالحصول على النتائج المرجوة خلال فترة زمينة قصيرة، وتتمثل عيوبها بمحدودية استخدامها، بسبب قلة الكفاءات القادرة على تشغيل مثل هذه الطريقة.

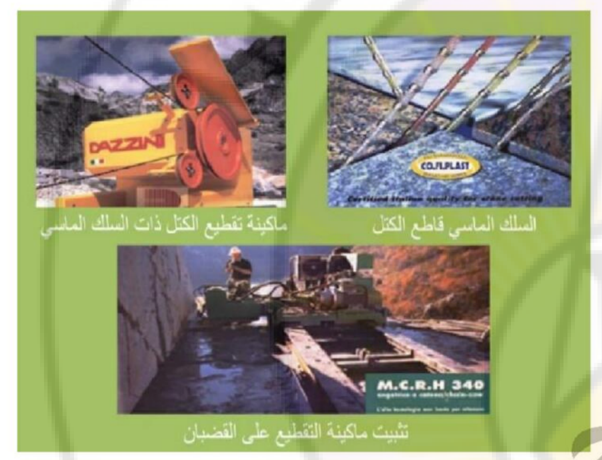
الاستخراج بالطريقة الآلية: وهى أحدث الطرق المستخدمة في العالم الآن، حيث تعتمد بشكلٍ مباشر على المنشار الآلي المستخدم في عمليات التقطيع من الجبال مباشرةً وبالأحجام المطلوبة، ويتم ذلك عن طريق لصق المنشار بجسم الجبل، بحيث يكون سن المنشار مواجه تماماً لواجهة الجبل، فيتوغل سن المنشار راسياً ثم أفقياً لقطع الجزء المطلوب، وبعد ذلك يتم إخراج الجزء المقطوع من جسم الجبل، وإنزاله إلى أرضية المحجر بواسطة الونش، فيتم تحميله على عربات النقل تمهيداً لنقله إلى أماكن التجهيز والتصنيع، وتمتاز هذه الطريقة بارتفاع عامل الأمان عند الاستخراج، فهي سهلة وقليلة التكلفة وصديقة البيئة،



فضلاً عن عدم تواجد غازات متصاعدة كما في عملية التفجير، فيما تظهر عيوب هذه الطريقة بارتفاع التكلفة الإجمالية، حيث أن سعر المنشار عالي جداً، ولذلك فهي غير مجدية اقتصادياً إلا في حالات الاستخراج الضخمة بالمحاجر ذات الاحتياطي الكبير، والتي يمكن معها استرداد عائد الربح بسرعة، لذلك فهي تستخدم في الدول المتقدمة مثل الصين وإيطاليا والولايات المتحدة الأمريكية.

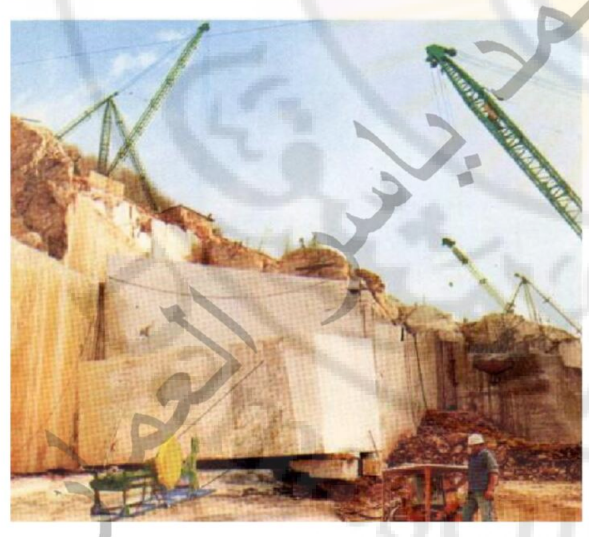
<u>الاستخراج بطريقة السلك الماسي:</u> يتم في هذه الطريقة القطع باستخدام السلك ذو القطع الماسية، لإنتاج كتل ذات أبعاد متساوية القطع وفيما يلى وصف لخطوات تسلسل العملية الإنتاجية لإنتاج كتل حجرية وفق ما يلي:

- عمل قطع أفقى بالسلك الماسي للحصول على السطح العلوي.
- استخدام السلك الماسي لعمل قطع راسي من السطح العلوي إلى أسفل، وذلك للحصول على واجهة أمامية توضح الفواصل الموجودة كماً وحجماً، ثم يتم تقسيم الواجهة إلى أجزاء.



ماكينة تقطيع الكتل ذات السلك الماسي
السلك الماسي قاطع الكتل
تثبيت ماكينة التقطيع على القضبان

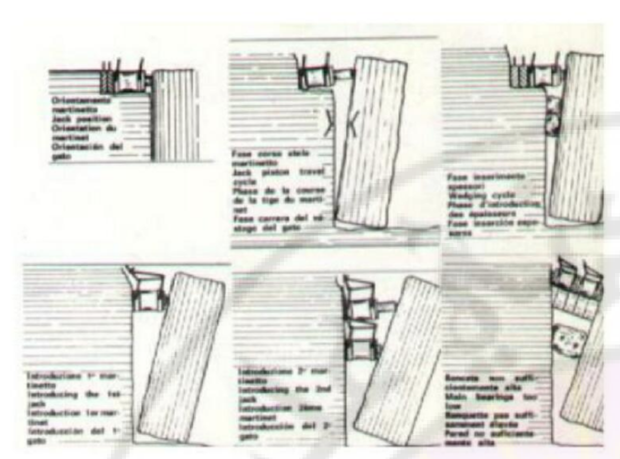
- عمل شبكة من الخروم باستخدام ماكينة التخريم لإنزال أعمدة القطع.
- القطع الرأسي لعدة قطع، بحيث لا تزيد السماكة عن 2.5 متر، لتكون مناسبة لأبعاد معدات النشر.
- القطع الأفقي لعدة قطع، وبذلك تتكون قطع من الخام مقطوعة أفقياً وراسـياً.
- فصل الكتل عن الجبل الأم، عن طريق زحزحتها باستخدام السلك الحلزوني.
- إنزال الكتل المفصولة عن أرضية المحجر باسـتخدام الونش العلوي، تمهيداً لنقلها لمصانع النشـر.



تعتبر هذه الطريقة من أفضل طرق الاستخراج، حيث أن أحجام الكتل المستخرجة تكون متناسبة مع معدات النشر، ومن ميزاتها الحفاظ على الثروة المعدنية من الضياع، وتقليل نسبة الفاقد، وإمكانية الحصول على كتل كبيرة يمكن تقسيمها حسب الطلب.

د- فصل البلوكات عن الجبل:

يتم فصل البلوكات الحجرية على عدة مراحل:



<u>المرحلة الاولى:</u> يتم في هذه المرحلة تحديد أبعاد الجزء المراد فصله، حسب طول واجهة المحجر، ثم يتم تخريم حدود المنطقة المحددة لأعماق متساوية في كل الثقوب، وذلك بواسطة مطرقة التخريم المدعومة بضاغط الهواء، وبعد إتمام عملية التخريم يتم فصل الجزء عن الجبل، بحيث يكون على هيئة كتل ضخمة حسب طول واجهة المحجر.



<u>المرحلة الثانية:</u> يتم تقسيم الكتلة الحجرية إلى أجزاء أصغر ، أبعاد كل جزء(10*5) م^2، وهو الجزء الذي يعتبر نواة لفصل بلوكات الحجر بعضها عن بعض.

<u>المرحلة الثالثة:</u> يتم في هذه المرحلة الفصل النهائي للبلوكات عن طريق المدقات والحفّار حتى يتم فصل البلوك فصل نهائي، وبعد ذلك يتم إنزال البلوك من الجبل إلى الأرض عن طريق الونش، وتحميله على عربات النقل وذلك تمهيدا لنقله إلى أماكن التصنيع والتجهيز، حيث يتم تحويلها إلى ألواح أو بلاطات صغيرة حسب حجم الكتل وصفاتها، ثم تتم عمية الصقل والتلميع حسب حاجة السوق.



هـ- تحويل البلوكات إلى ألواح وبلاطات:

وتتم هذه الطريقة عبر تسوية حواف الكتل (البلوك) من جميع الجهات باستخدام منشار بسلك ألماس، ومن ثم شق الكتل إلى ألواح باستخدام معدات النشر، ويتم ذلك بالخطوات التالية:



1. نقل الخام من المحجر إلى إلى مقطورات باستخدام ونش علوي.
2. نقل البلوك إلى داخل المصنع باستخدام الونش العلوي.
3. تحميل البلوكات على العربات الحديدية الخاصة بالتجهيزات.
4. تثبيت البلوك على العربة باستخدام الإسمنت والجبس.
5. دفع العربات على قضبان حديدية حيث يتم تثبيتها تحت التجهيزات.
6. مرحلة الجلاء والصقل والتلميع.
7. مرحلة التقطيع حيث يتم وضع الوجه الناعم للقطعة مقابل الوجه الناعم للقطعة الأُخرى لحمايتها من الخدش.
8. مرحلة التغليف.
9. مرحلة التعبئة والتخزين.
10. النقل إلى المستهلك.






المحاضرة الخامسة

الطين

"محاضرة ملغاة"



المحاضرة السادسة

الآجُر والأشغال الآجُرية



الآجر (Bricks) في الأصل صلصال "الغَضار" (Clay)، نَدي مُقولب يدوياً (Hand Moulded)، ومجفف تحت أشعة الشمس؛ "يُدعى باللغة العربية اللَّبِن (Adobe)"، ولا تزال هذه الطريقة المُثلى في بعض المناطق التي تتمتع بالمناخ الجاف. أما شُواء الآجر الصلصالي فيعود تاريخه إلى ما يزيد على 5000 سنة، إذ يُعتبر اليوم عملية صناعية معقدة، مع أنه لم يطرأ أي تبديل على مبدأ شي الصلصال لغرض تحويله من حالته اللدنة إلى مادة خزفية متينة، ثابتة الأبعاد، لا تحتاج إلا إلى قليل من الصيانة.

إن استخراج الصلصال وصنع الآجر يستهلكان طاقة كبيرة، تتسبب في انبعاث كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون، وغيره من الملوثات بما فيها ثاني أكسيد الكبريت، كذلك قد ينتج من استخراج الصلصال آثار بعيدة المدى على الوسط البيئي، مع أنه جرى في بعض المناطق تحويل تلك الحفر القديمة الخاصة بالصلصال إلى ملاذ للطيور أو أنها استُخدمت كمنتجعات.

تعد كاتدرائية القديس كوربينيان (Saint Corbinian) الواقعة في مدينة إيفري (Evry) بالقرب من باريس، مثالاً على الاستخدام الحديث للأعمال الآجرية، والتي صممها المعمار ماريو بوتا، فقد شُيدت خلال العام 1997م باستخدام 67000 وحدة آجرية، كما تم تفصيل الأعمال الآجرية الداخلية ثلاثية الأبعاد بدقة، لتوفر التجاوب الصوتي المطلوب.



1- الآجر الصلصالي المشوي:

يتيح المجال الواسع للصلصال الصالح لصنع الآجر إمكانية تنويع المنتجات، فقد تنوعت عمليات تشكيل الآجر وإنهاء سطوحه، وضبط شروط شيه؛ نتيجةً لخلط الصلصال (Blending Clays).

إن المكونات الأساسية للصلصال الصالح لصنع الآجر هي السيليكا (Silica) أي الرمل، والألومينا (Alumina)، مع كميات متفاوتة من الحوّار (Chalk) بحسب مصدرها، والكلس (Lime) أي الجير، وأكسيد الحديد (Iron Oxide)، وغير ذلك من المواد الثانوية مثل الصلصال الناري (Fireclay)..

1-1- مقاسات الآجر الصلصالي المشوي:

لم يتم تحديد وحدات البناء الصلصالية في أوروبا، أما في المملكة المتحدة فقد حُدد المعيار المتري للآجر بالملتمر كما يلي: 125*105*65 (تشير الأبعاد بالترتيب إلى الطول فالعرض فالارتفاع بوحدة قياس ملم)

كما يتراوح وزن الآجرة الواحدة مابين (2-4) كغ، ويمكن حملها بيد واحدة بسهولة، إذ يساوي الطول ضعف العرض مضافاً إليه 10ملم للوصلة المعيارية، ويساوي كذلك ثلاثة أضعاف الارتفاع مضافاً إليه وصلتان معياريتان.

الحجوم المتناسبة

أبعاد الشغل (الوصلة النظامية 10 مم)

أبعاد شغل آجر طبقا لآجر من دون رابط مكسور

كذلك الأمر، ارتكزت منظومة التنسيق المعيارية في صناعة البناء بالمملكة المتحدة على استخدام نموذج أخذ اسم (M)، بطول 100ملم، ومضاعفاته 3M و 6M و 12M و 15M و 13M و 60M، ليتم خلال ذلك التركيز على أن الوحدة الأساسية هي 3M. وعليه فإن أربعة مداميك من الآجر ارتفاع كل منها 65ملم مع وصلاتها تعطي ارتفاعاً يساوي 300 ملم، وأربع آجرات على نسق مع وصلات تعادل 900ملم.

تطورت أبعاد وحدات الآجر من المقاسات الإمبراطورية الأكبر قليلاً، لكن الشائع منها كان بقياس الملتمتر كما يلي: (229*112*73) أو (219*105*67)، ويعرض بعض المصنعين مجالاً يعادل الأبعاد الإمبراطورية للآجر بديلاً للارتفاع المناسب، مثلاً 50 أو 68 أو 73 أو 76 أو 80 ملم للربط في الأشغال الآجرية لأعمال الترميم والصيانة.

شهدت سبعينات القرن العشرين إدخالاً للنموذج المتري (Metric Modular)، مع تنسيق المقاسات (200 أو 300)ملم طولاً و 100 ملم عرضاً و 100 ملم ارتفاعاً، بالإضافة إلى قياساتٍ أُخرى.

1-2- تصنيع الأجر الصلصالي المشوي:

يتم تصنيع الآجر الصلصالي وفقاً لخمس مراحل متتابعة هي:

أولا: استخراج المادة الخام.

ثانياً: عمليات التشكيل.

ثالثا: التجفيف.

رابعاً: الشيّ بالنار.

خامساً: التغليف والتوزيع.

أولاً: استخراج المادة الخام

تبدأ هذه المرحلة باستخراج الخامات من المقلع، ونقلها إلى المصنع، ويتبع ذلك لمجموعة من المراحل المتسلسلة.

أ- يتم إزالة التربة السطحية والغطاء الترابي غير المناسب، والتي يمكن استعمالها لاستصلاح الموقع بعد استهلاك الصلصال الصالح.

ب- يتم نخل المواد الخام للتخلص من الصخور.

ج- يتم طحن المواد الخام بواسطة سلسلة من الكسارات والمطاحن، لتصبح مسحوقاً ناعماً.

د- يتم نخل الناتج نخلاً إضافياً؛ للتخلص من أية جزئيات أكبر من الحجم المطلوب.

هـ- يتم إضافة كمايات قليلة من الأصبغة أو أنواع الصلصال الأُخرى؛ للحصول على التأثير اللوني المطلوب، مثلاً يُضاف ثاني أكسيد المنغنيز للحصول على آجر أسود، في حين يُعطي الصلصال الناري لوناً بنياً كلون الخشب الساج (Teak)، وفي بعض الأحيان يتم إضافة سُقاط فحم الكوك (Coke Breeze) ليعمل كمصدر للوقود في عملية الشي بالنار، ويُمكن إضافة كمية من الماء حتى 22%، لإعطاء المزيج اللدونة المطلوبة.

ثانياً: عمليات التشكيل

يمكن تشكيل وحدات الصلصال الأجري بطرق مختلفة:

أ- الآجر اليدوي: تشمل عملية التصنيع اليدوي إلقاء كتلة من الصلصال الرطب بالحجم المناسب في قالب خشبي، ليتم إزالة الفائض من الصلصال بإطار من سلك، ويُرفع الآجر ندياً (أخضراً). وغالباً ما يكون المنتج غير منتظم الشكل وحوافه لينة، وسطحه متموج بشكل ملفت. وثمة طريقتان مختلفتان لعملية القولبة، إما على لوح منفصل (Pallet Moulding) أوالقولبة بالسكب (Slop Moulding).



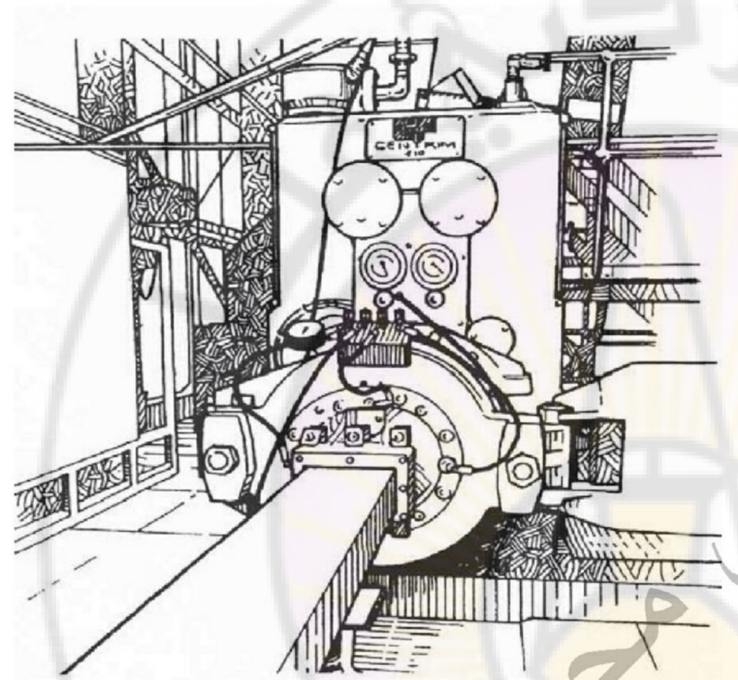
قالب مع لوح منفصل



قالب السكب

ب- التشكيل الميكانيكي: أصبح التصنيع اليوم غالباً مؤتمتاً، بحيث يتم قذف الصلصال ميكانيكياً في قوالب مرشوشة بالرمل سلفاً، ثم تتم إزالة الطين الفائض، ويُحرر الآجر من القوالب، ليتمتع الآجر بكثير من الخواص التي يتصف بها ذلك المُصنع يدوياً، غير أن تكاليفه أقل.

ج- الآجر المضغوط: تعتمد هذه الطريقة على وضع الكمية المناسبة من الصلصال في قوالب فولاذية، حيث يتم ضغطها لعدة مرات، ومثالاً على ذلك الآجر نصف الجاف (Semi-Dry) المستخدم في تصنيع آجر فلتون (Fletton) بالمملكة المتحدة.



د- الآجر المشكل بالبثق والمقطع والسلك: في هذه العملية تتم تعبئة الصلصال الذي يحتوي على 25% ماء في آلة بثق لولبية، ترص الصلصال وتطرد الهواء، وتدفعه في قالب متطاول، بحيث يتشكل عمود أبعاده مساوية لطول الآجر الندي وعرضه، ويمكن عندئذٍ إعطاء سطح العمود النسيج المطلوب، أو تمليسه قبل تقطيع العمود بسلسلة من الأسلاك إلى وحدات آجرية مفردة. أما الآجر المثقب المقطع بالأسلاك فيُشكل من خلال وضع قضبان أو أسنان بين آلة البثق اللولبية والقالب.

ثالثاً: التجفيف

لمنع تشقق وتشوه الآجر عند شيه بالنار، يجب أن يُترك المنتج الندي من الصلصال المرطب ليجف وينكمش.

رابعاً: الشيّ بالنار

يتم شي الآجر باستخدام كل من الفرن المتقطع (Intermittent Kiln) لشي الآجر على دفعات، والفرن المتواصل (Continuous Kiln) للشي بعملية مستمرة بلا توقف.

خامساً: التغليف والتوزيع:

تتم إزالة الآجر التالف والمتكسر قبل التغليف، ثم يُحزم الآجر في رزم تضم (300-500) وحدة آجرية، بحيث يمكن نقلها بواسطة رافعة شوكية وعلى مركبات، أما الآجر ذو الأشكال الخاصة، فغالباً ما يُحزم في ألواح خشبية.

1-3- مواصفات الآجر الصلصالي المشوي:

عند التعرف على خواص الآجر الصلصالي كان لابد من تحديد المعايير العامة المتعلقة بشكله وديمومته، فقد حدد المعيار الأوروبي وصف شامل لوحدات البناء، بما في ذلك تاريخ التصنيع، ونوع الوحدة، والأبعاد، والخواص الفيزيائية والكيميائية للوحدة. ويتضمن التصنيف عادةً بعض الأوصاف التقليدية التالية:

أ- **مكان المصدر والاسم الخاص** (مثلاً: ستافوردشاير أزرق أملس).

ب- **تركيبة الصلصال** (مثلاً: صلصال غولت Gault أو حجر ميرشن الطيني Mercian Mudstones، أو الطَفَل Shale).

ج- **النوع وموضع الاستخدام** (مثلاً الصنف A الهندسي)، حيث يتم تصنيف النوع إلى آجر عادي (Common Brick) مخفي بأشغال البناء، وآجر واجهة (Facing Brick)، وآجر هندسي (Engineering Bricks) يُستعمل بإسناد الحمولات الثقيلة، وفي الأماكن التي تحتاج إلى تقليل من آثار الصدم وامتصاص الماء، ويكون غالباً بلون أحمر أو أزرق.

د- **النمط والشكل وعملية التصنيع** (مثلا: مصمت)، حيث يدل النمط على الشكل النهائي الآجر، ويكون إما مصمت (Solid) أو مجوف (Frogged) أو خلوي (Cellular) أو مثقب (Perforated) أومحزز (Keyed) ذو شكل خاص (Special Shape).

هـ - المظهر واللون ونسيج السطح (مثلاً: أحمر مرجاني بسيط)، ومن الممكن أن يكون الآجر مزجج، ليتم تصنيعه على مرحلة واحدة عبر طلاء الآجر الندي بطبقة شفافة ثم يتم شيه، أو عبر مرحلتين ليتم شيه أولياً ومن ثم تطبيق طبقة رقيقة من طلاء زجاجي شفاف، ثم شيه مرةً ثانية.

ستافورد شاير أملس أزرق موشح — يدوي برتقالي منوع

أحمر شجري غامق — أصفر شجري منوع

أحمر متغضن مقطع بالسلك — أصفر برتقالي مجعد مقطع بالسلك

أحمر مختلط مقطع بالسلك — رمادي فضي مشط مقطع بالسلك

4-1- الخواص الفيزيائية للآجر الصلصالي المشوي:

- **متانة مقاومة الضغط:** يتوفر الآجر الصلصالي العالي الكثافة (HD) بمقاومة ضغط (Compressive Strength) بين 5 MPa، إلى ما يزيد على 100 MPa، أما شروط الاستعمال العام في المداميك المانعة للرطوبة والاستعمال الهندسي، فتتحدد المتانة العليا تحت الضغط أكبر أويساوي 75 MPa وفقاً للصنف المستخدم.
- **تشرب الماء وامتصاصه:** يتراوح تشرب الآجر الصلصالي للماء عموماً ما بين (1-35)%، فالآجر ذو معدل الامتصاص العالي يتشرب الماء من الملاط بسرعة، مما يجعل الملاط غير لدن بما فيه الكفاية، وعلى العموم فإن معدلات الامتصاص المنخفضة تعد ميزة جيدة، ففي الطقس الحار قد يُبلل الآجر ذو معدل الامتصاص العالي بماء

نظيف قبل تركيبه، ولكنّ أي فائض من الماء قد يتسبب في تعويم الآجر فوق فرشة الملاط، ويزيد من خطر التملح والتبقع لاحقاً.

حركة الرطوبة والحرارة: بعد عملية شي الآجر بالنار يتشرب رطوبةً من الجو، ويتمدد بنسبة تصل إلى 0.1 % كحدٍ أقصى، لذلك يُنصح بألا يستعمل الآجر لمدة أسبوعين بعد الشي على الأقل (من المعترف به أن عملية التمدد هذه قد تستمر بمعدل متناقص لمدة 20 سنة). أما الحركات الناتجة عن الرطوبة والحرارة اللاحقة، فيسمح باستعمال فواصل تمدد (وصلات حركة Movement Joints) بمقدار 1ملم في المتر الواحد من شغل الآجر، بحيث تكون المسافة ما بين مراكز الفواصل (10-12) م في الجدران المحصورة (المقيدة) و15 م كحد أقصى، أما الجدران غير المحصورة أو المحصورة قليلاً فيجب أن تكون المسافة (7-8)م، كما يجب أن تكون المسافة ما بين فواصل التمدد الأفقية 12م تقريباً، لأن الحركة الشاقولية تكون من مرتبة الحركة نفسها في الاتجاه الأفقي، وفي الجدران الخارجية غير المسلحة وغير الحاملة يسمح أن تكون المسافة القصوى بين الفواصل الشاقولية 15م.

- **الناقلية الحرارية:** تعتمد الناقلية الحرارية لأشغال الآجر على الكثافة ومحتوى الرطوبة، إلا أن الآجر الصلصالي عموماً ما هو إلا عازل حراري ضعيف، حيث يقدم صانعو الآجر الناقلية الحرارية ما بين (0.65-1.95) W/mK، عند محتوى رطوبة 1% لأشغال الآجر المكشوفة، ويمكن أن يعطوا الناقلية الحرارية عند محتوى 1% لأشغال الآجر المحمية.
- **مقاومة النار:** يعد الآجر الصلصالي مقاوم جيد للنيران، بمحافظته على ثباته وتماسكه، وخصائص عزله، حيث يمكن للآجر الصلصالي بسماكة 100 ملم و200 ملم على التوالي أن يؤمن 120 دقيقة و360 دقيقة من مقاومة النيران.
- **الخصائص الصوتية:** تعد الأشغال الآجرية حاجزاً فاعلاً للصوت المحمول في الهواء، شريطة عدم وجود فراغات خلال الملاط يمر فيها الصوت، ويجب أن تكون جميع وصلات الآجر مختومة، وتجاويفه مملوءة؛ لتحقيق الكتلة الضرورية في وحدة المساحة، وتجنب مسارات الهواء.
- **ضبط الجودة:** يستخدم الكثير من صُناع الآجر اليوم نُظم ضمان الجودة تلبيةً لمعايير الجودة الثابتة (Consistant Standards) التي يتطلبها العميل، وهذا ما يفرض على المصنعين توثيق كل إجراءاتهم ووضع معايير تخضع لها منتجاتهم.

2- الآجر الصلصالي غير المشوي (اللَّبِن):

يُنتج الآجر الصلصالي غير المشوي المُعد للاستعمالات الداخلية غير الحمالة من صلصال أقل مُلاءمة للآجر المعياري المشوي، فالآجر الترابي يتطلب فقط استهلاكاً منخفضاً من الطاقة ليجف، وله احتمالات عالية لإعادة التدوير (Recyclability)، ويُبنى باستخدام الملاط من الصلصال أو بملاط من الكلس المائي (Hydraulic Lime) المعتدل، ويُنهى بكسوة مسامية (Breathable Finish) كالطين أو الجص الكلسي، أو بالكلس أو بطلاء نفوذ.

يظهر الآجر الصلصالي غير المشوي المثقب شاقولياً ذو إنهاءات ملسات أو محززة، بمقاسات (220*10.5*67)ملم أو (220*10.5*133)ملم، وتتراوح متانته على ضغط ما بين (2.9-3.8)MPa.




3- أشغال الآجر:

سيتم التطرق إلى أشغال الآجر وفقاً لما يلي:

- 3-1- أشغال الآجر الصلصالي.
- 3-2- أشغال الآجر المسلح.
- 3-3- أشغال الآجر التزييني.
- 3-4- أشغال الآجر مسبق التجميع.

3-1- أشغال الآجر الصلصالي:

تتأثر أشغال الآجر الصلصالي بطريقة الربط ولون الملاط وشكل الوصلات، ويعتبر لجميعها تأثير بصري مهم، حيث يمكن التصميم بالتأكيد على تأثير الآجر كأحد معالم البناء، أو تقليص أثر الملاط الرابط للآجر إلى أدنى حد، أو استعمال الآجر المتعدد الألوان مع ألوان مُكملة أو متباينة للزوايا والحواف والأطر.. وغير ذلك، مما يعطي تأثيراً مميزاً في المظهر العام للبناء.

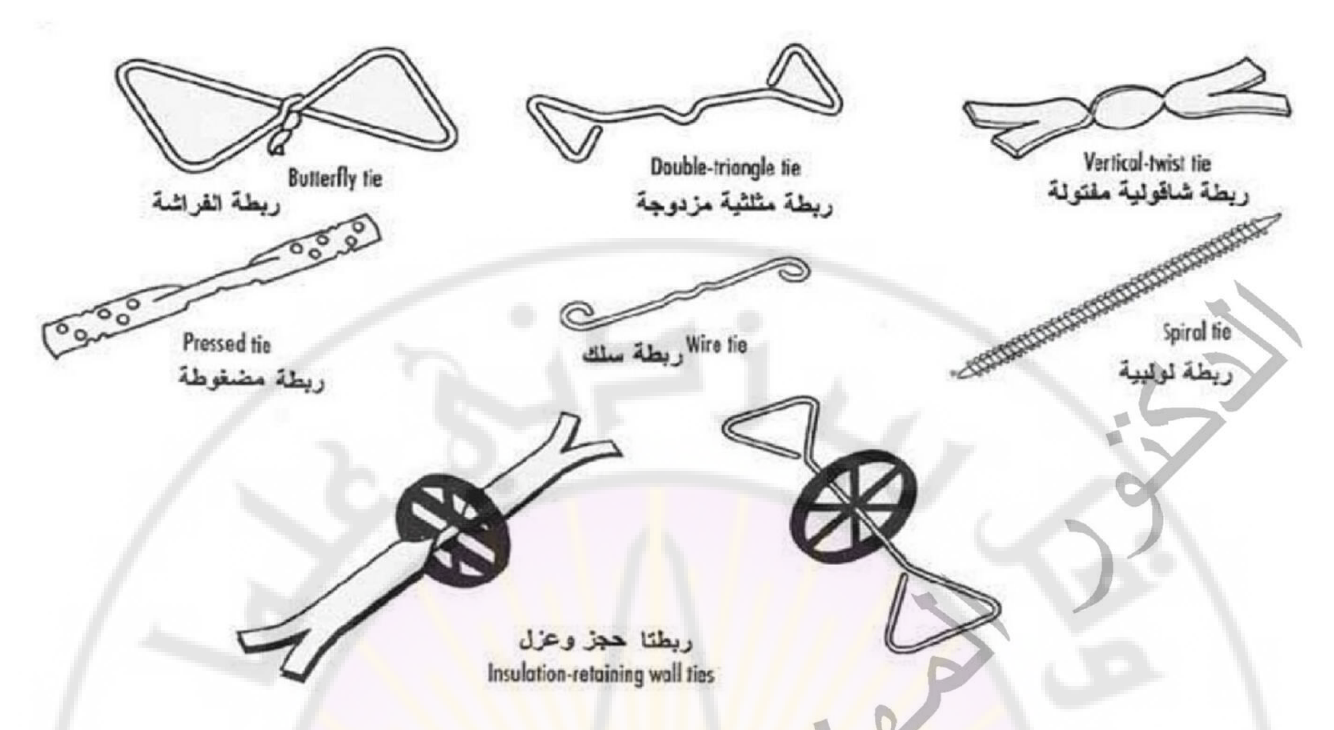
الملاط: يعتبر الملاط ضرورياً في أشغال الآجر لتوفير سطح الارتكاز (Bearing) له، وليكون لاصقاً ما بين الوحدات، ويجب أن يكون الملاط أضعف من وحدة الآجر الواحدة، ليضمن ألا تسبب أية حركة لاحقة تشققات مرئية في الآجر. تتألف خلطة الملاط إما من مزيج (إسمنت + كلس + رمل) أو (إسمنت حجري + رمل) أو (إسمنت + رمل مع مادة مُلدنة)، مع الأخذ بعين الاعتبار نسب الخلط، فهناك الخلطة التقليدية 1:1:6 (إسمنت:كلس:رمل)، وهي خلطة ملائمة عموماً، وذات ديمومة للمباني منخفضة الارتفاع. وتصنف عادةً الرمال من أجل مزيج الملاط إلى فئات، يشار إليها بزوج من أقطار فتحات الغربال، هما d/D، ويدلان على حدود المقاس الأدنى والأعلى بالملمتر على التوالي، ويجب أن تكون مقاسات حبات الرمل موزعة بين الحدين المذكورين، وأفضل تدرجات الرمل هي 0/1 ملم و0/2 ملم و0/4 ملم و0/8 ملم و2/4 ملم و2/8 ملم، وعادةً يمر بين (85-99)% من الرمل عبر الفتحة الكبرى للغربال، كما يجب أن يمر نحو (0-20)% عبر الفتحة الصغرى للغربال.

- **الربط:** تؤثر طريقة ربط وحدات الآجر على الشكل النهائي للجدران، فالربط الطولي هو المعيار الأساس للجدران ذات الفجوات (Cavity Walls)، وعادةً ما يستعمل ترتيب التراكب النصفي (Half-Lap Bond)، وفي أشغال الصيانة التراثية قد يكون من الضرروي استعمال أنصاف وحدات آجرية (قطع عرضية)، لتتماشى مع مظهر الربط في الجدران الآجرية المصمتة، وهناك إمكانية تنويع أكثر بالنسبة إلى الجدران المؤلفة من صف آجر واحد، وأكثرها شيوعاً الربط الإنكليزي والربط الفلمنكي، وخصوصاً في جدران الحدائق.

ربط طولي
Stretcher bond
ربط جدران الحدائق الإنجليزي
English garden wall bond
English bond
الربط الإنجليزي
الربط الفلمنكي
Flemish bond
ربط جدران الحدائق الفلمنكي
Flemish garden wall bond

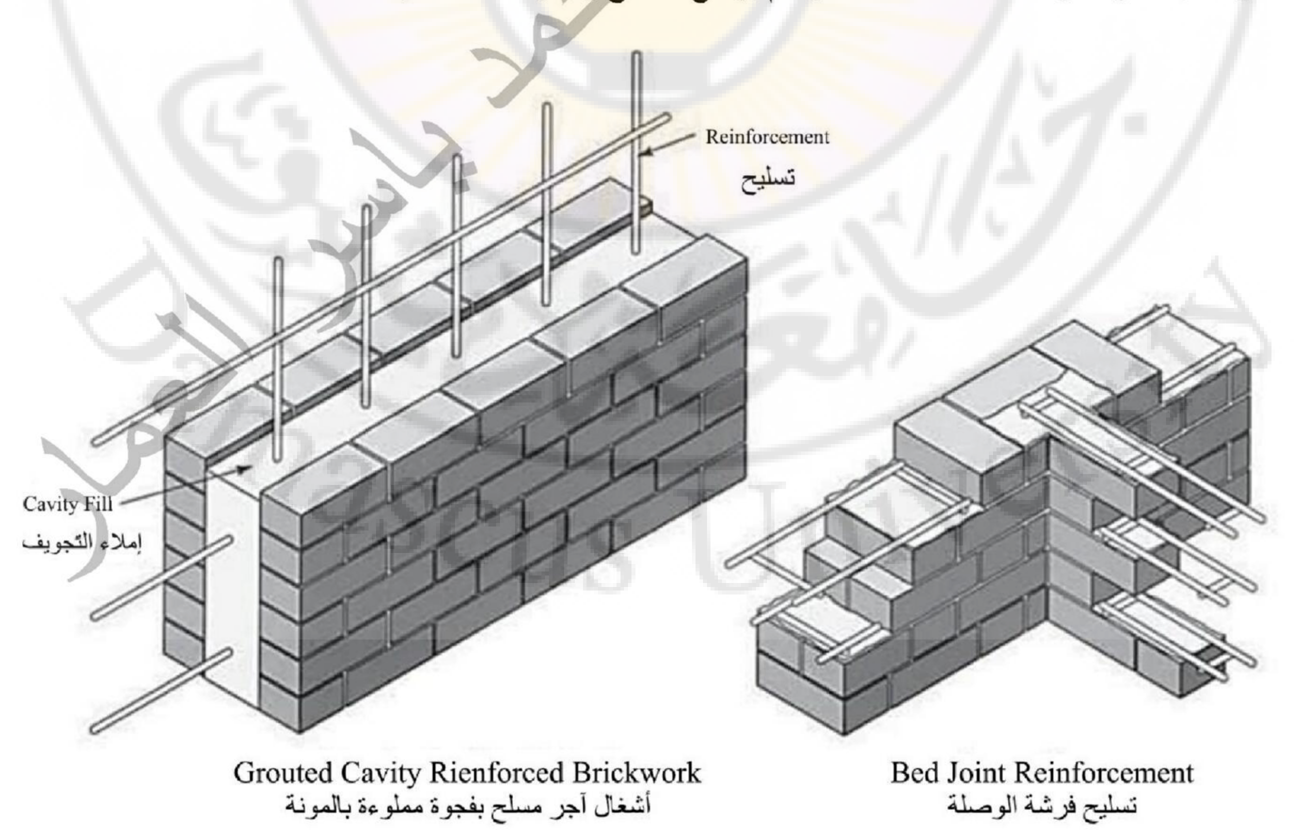
وفي كل الأشغال الآجرية للجدران ذات الفجوات يجب استعمال أربطة للجدران (Wall Ties) مُصنعة من الفولاذ المُغلفن أو الفولاذ غير قابل الصدأ أو البولي بروبيلين (Polypropylene). وعندما لا تحقق وصلات الملاط الأفقية التنسيق بين طبقتين البناء، يجب عندها استعمال أربطة مائلة خاصة (Slop-Tolerant Cavity Wall)، حيث يجب أن تُشبك الأربطة الجدرارية طبقة العزل الموجودة في الفجوة مع طبقة الجدار الداخلية، وفي جميع الأحوال يجب أن تبقى الفجوة والعزل والأربطة غير ملوثة بسقط الملاط وغيره من المخلفات.





2-3- أشغال الآجر المسلح:

قد يتم تنفيذ التسليح شاقولياً أو أفقياً في الجدران الآجرية، وتُسلح الوصلة الأفقية عادةً بقضبان فولاذ أوستيني غير قابل للصدأ (Austenitic Stainless Steel)، على أن تُحاط بالملاط بسمك 15ملم على الأقل، ومن أجل استمرارية التسليح في الجدران الطويلة يجب أن تكون نهايات القضبان متراكبة بما فيه الكفاية. يُعد التسليح الشاقولي ممكناً في جدران الفجوة، حيث تترك فراغات داخل شغل الآجر، ثم يوضع التسليح والخرسانة بعد انتهاء البناء.

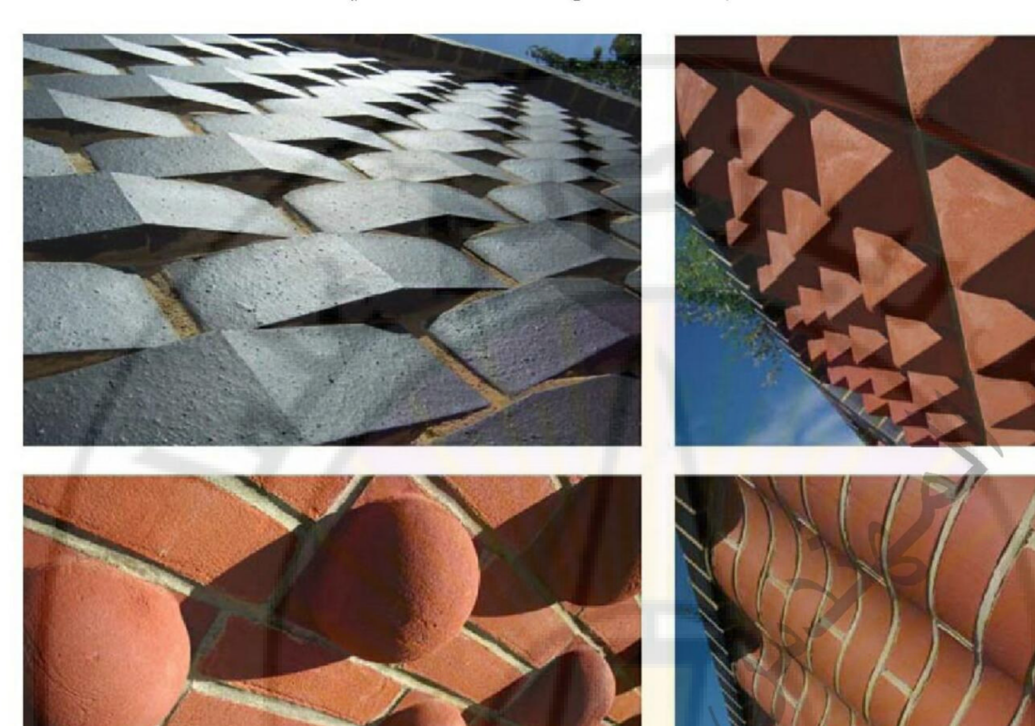


Grouted Cavity Rienforced Brickwork
أشغال آجر مسلح بفجوة مملوءة بالمونة

Bed Joint Reinforcement
تسليح فرشة الوصلة

3-3- أشغال الآجر التزييني:

يمكن القيام بالتشكيل التزييني عبر الآجر المكيّف المُقطّع، ومن هذه الأشكال "الآجر أسنان المنشار والكروي والهرمي والمتموج بألوان مختلفة"، ليكوّن لوحات بارزة المعالم أو متداخلة مع شغل الآجر النظامي.







كما يمكن تصنيع لوحات وزخارف وجداريات ومنحوتات معقدة بتصاميم مفردة، سواءً للمباني الحديثة أو لترميم المنحوتات الطينية (التراكوتا الفيكتورية Victorian Terracotta) العائدة إلى العصر الفكتوري، إذ تُنحت على طريقة النحت النافر (Bas-Relief) الصلب الناعم بألوان شغل الآجر، أو تقولب من الصلصال غير المشوي بوحدات صغيرة نسبياً، توصل مع بعضها في الموقع بملاط يتماشى معها. أما الوحدات المتكررة فيتم تشكيل صلصالها في قوالب خشبية مناسبة، ليعطي النحت النافر بعمق (10-30) ملم الظل والتباين الكافيين لأغلب الملامح النحتية كي تُرى، فيمكن أن تُصنع الوحدة بكاملها من اللبن الندي مع سماحيات مناسبة لوصلات الملاط وتقلصات التجفيف، وبعد ذلك يُنحت التصميم ويرقّم ويُجزأ ويشوى ويعُاد تجميعه في الموقع.

4-3- أشغال الآجر المُسبق التجميع:

إن استعمال الآجر المسبق التجميع المُستند إلى إطارات من الخرسانة المسلحة أو من الفولاذ يقدم للبناء مستوى أعلى من التحكم في الجودة وسرعة التشييد في الموقع، كما يفسح المجال لابتكار تفاصيل وأشكال مُعقّدة. وينتج المصنعون ألواحاً كبيرةً كاملة من الخرسانة المسبقة الصنع المكسوة بآجر كامل أو برقائق منه.

عادةً يتم تثقيب الأوجه الخلفية لرقائق الآجر بزوايا مائلة، ثم تُدخّل في الثقوب أسلاك فولاذ غير قابل للصدأ، وتُثبت بمادة لاصقة راتنجية، حيث تُصف رقائق الآجر موجهةً إلى الخارج بفواصل داخل قالب اللوح قبل إضافة التسليح الفولاذي وصب الخرسانة، ثم تُكحّل الرقائق لتعطي المظهر المطلوب لشغل الآجر.



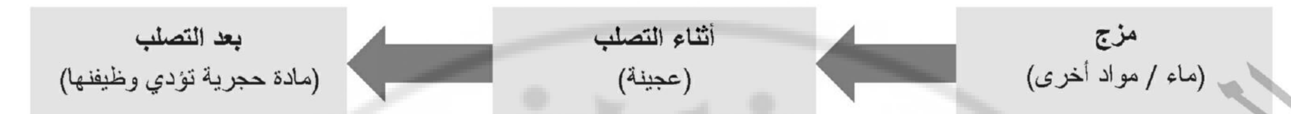
المحاضرة السابعة

المواد الرابطة - الإسمنت



1- تعريف المواد الرابطة:

هي مواد غير عضوية ، تكون على شكل مساحيق تشكل بخلطها مع الماء عجينة تعطي بعد تصلبها مادة حجرية تؤدي وظيفتها في البناء .



2- تصنيف المواد الرابطة:

أ- المواد الرابطة الهوائية : مواد تتأثر في الماء ، و لكنها تتجمد و تتحول إلى مادة حجرية و تحافظ على متانتها في الهواء و ليس في الماء ، من المواد الرابطة الهوائية: الجبس والكلس الهوائي.

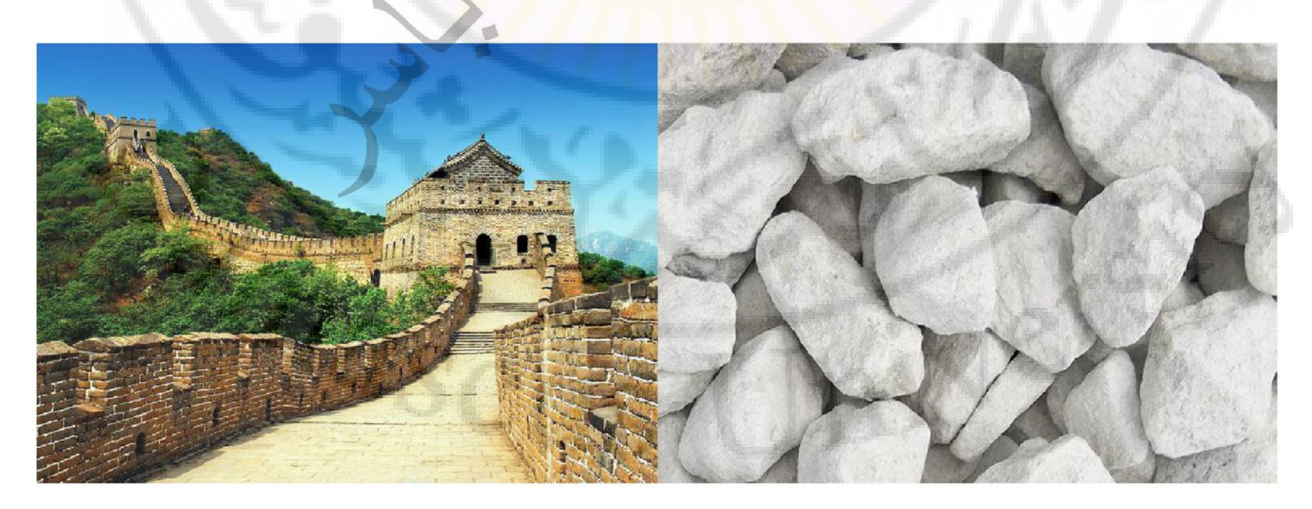
ب- المواد الرابطة المائية : مواد تتفاعل مع الماء، و تتصلب و تحافظ على قوتها ليس فقط في الهواء ولكن ضمن الماء أيضاً، من المواد الرابطة المائية: الاسمنت والكلس المائي.

الكلس Lime:

وهو مادة رابطة (يمكن أن تكون هوائية أو مائية) ، يتشكل من الصخور الرسوبية غير الفتاتية Nonclastic Sedimentary Rocks (و هي صخور كيميائية) .

غالباً ما يكون الحجر الكلسي أبيض اللون ، و يحتوي على كميات متفاوتة من السيليكا ، و لكن الشوائب تجعله يتلون بألوان مختلفة ، و يعتبر حجراً قوياً و له ديمومة عالية ، سهل النحت و التشكيل ، يستعمل على شكل قطع للبناء (لم يعد مستخدم كمادة بناء حالياً) ، بل يستخدم غالباً في الإكساء (و هو مادة مهمة في الإكساءات الداخلية و الخارجية و يعطي الأسطح لون الكلس الأبيض المطفأ) ، و أيضاً يستخدم كمادة رابطة (مبنى الحقوق في جامعة دمشق).

الكلس مادة طبيعية معروفة منذ 4000 سنة قبل الميلاد ، و يعد سور الصين العظيم أكبر شاهد على ذلك.



الجبس Gypsum:

مادة رابطة هوائية ، يتشكل من الصخور الرسوبية غير الفتاتية Nonclastic Sedimentary Rocks، هو من الخامات الأرضية الشائعة ، ذو لون رمادي أو أبيض و يميل إلى الاحمرار ، يوجد على سطح الأرض أو على أعماق تصل إلى 350 م على هيئة رواسب ذات طبقات سميكة واسعة الامتداد ، و هو المادة الأساسية في إنتاج الجبس البنائي (جبصين) ، يعود استخدامه إلى العصور القديمة في مصر و روما ، أي إلى 6000 سنة قبل الميلاد ، و تعد الأهرامات أكبر شاهد على ذلك ، و قد شاع استخدامه في روما بسبب مقاومته للحريق.



الإسمنت Cement:

وهو مادة رابطة مائية ، لها خاصة التفاعل مع الماء فتكون عجينة لدنة تمتلك عند تصلبها بالهواء خواص تماسكية و تلاصقية ، مما يجعل الاسمنت مادة رابطة قادرة على ربط الرمل و الحصى و الحجارة التي تخلط بها ، و بذلك يتشكل الملاط mortar والخرسانة المقاومان لتأثير العوامل الطبيعية والماء تأثيراً مديداً.

الاسمنت في الأصل كلمة معربة عن اللاتينية Caementum ، ويقصد منها مسحوق الحجارة والرخام الذي كان يستخدم رابطاً لأحجار البناء زمن الرومان، وقد مكن الاسمنت الروماني (الملاط) البنائين من إقامة منشآت ضخمة مقاومة لتأثير الماء كالجسور والمرافئ ، وظل يستعمل في جميع بلدان العالم القديم إلى أواخر العصور الوسطى، ففي عام 1756 توصل الإنكليزي سميتون Smeaton إلى إنتاج ملاط يشبه الإسمنت الأسود المعروف شبهاً كبيراً، وفي عام 1812 أوصى الفرنسي لويس فيكا Louis Vicat بأن يشوى خليط من الكلس والغضار بنسب ملائمة للحصول على أفضل مواصفات لهذا الرابط. وبذلك عُدّ فيكا مخترع «الأكلاس» المائية الطبيعية والإسمنت الأسود الصنعي في آن واحد.



3- الإسمنت:

ظهر الإسمنت في العالم منذ 12 مليون عام على الأقل، إذ تم اللجوء إلى استخدام الإسمنت الطبيعي في بادئ الأمر، بينما تم التوجّه نحو صناعة الإسمنت عندما كانت الأرض تمر بتغيرات جيولوجية مهمة، وفي نهاية المطاف تم اكتشاف طرق لصناعة مادة الإسمنت باستخدام مواد إضافية، ومن المحتمل أن يكون قدماء الرومان هم أول من استعمل مادة الإسمنت في البناء، كذلك الأمر تم تصنيع ما يُسمى بالإسمنت الروماني خلال القرن الثامن عشر، الناتج عن حرق الحجر الإسمنتي (الحجر الكلسي الصلصالي)، المجلوب من سواحل إنكلترا، وتعتبر قبة البانثيون Pantheon في روما من أهم الأمثلة على استخدام الخرسانة الرومانية، حيث يعود تاريخ التشييد إلى (25-27) قبل الميلاد.



ظهر تطور واضح في صناعة الإسمنت خلال العام 1824م، عندما حصل جوزيف أسبدين Joseph Aspdin على براءة اختراعه الشهيرة لتصنيع الإسمنت البورتلاندي من الحجر الكلسي والصلصال، باتباع الخطوات التالية:

أ- خلط مسحوقي كل من الحجر الكلسي والصلصال في روبة مائية.

ب- تبخيرالخليط بالحرارة ضمن مقلاة.

ج- تكسير المزيج الجاف إلى كتل صغيرة.

د- تكليس المزيج في فرن لتخليصه من غاز ثاني أكسيد الكربون.

هـ- حرق المزيج للحصول على الكلنكر Clinker؛ حيث أن الكلنكر مادة رمادية داكنة يتراوح قطرها ما بين (3-25)ملم، إذ يتم إنتاجها في درجة حرارة ما بين (1200-1500) درجة مئوية، ويمكن الاحتفاظ بها في المتاجر لفترة طويلة دون أي تغيير في جودتها.

و- طحن الناتج إلى مسحوق ناعم جاهز للاستعمال.



يشير مصطلح الإسمنت بالمعنى الواسع إلى المواد التي تعمل كلاصق Adhesives، إلا أنه في السياق يقتصر استعماله على كونه عنصراً رابطاً للرمل والحجارة والحصويات Aggregates الأُخرى خلال تصنيع الملاط Mortar والخرسانة Concrete.

أولا: أنواع الإسمنت

تُصنف أنواع الإسمنت وفقاً للمكونات الرئيسة والثانوية (تصل حتى 5% من الوزن)، وكذلك أضافات (تصل حتى 1% من الوزن)، حيث وضع المعيار البريطاني (BS EN 197-1:2000) خمسة أنواع رئيسة للإسمنت، هي:

- الإسمنت البورتلاندي .... CEM I
- الإسمنت البورتلاندي المركب .... CEM II
- إسمنت الفرن العالي .... CEM III
- الإسمنت البوزلاني .... CEM IV
- الإسمنت المركب .... CEMV

يمكن إدخال مجموعة من المكونات الإضافية على الأنواع الخمسة الرئيسة، ممثلةً بـ (دخان السيليكا – البوزولانا الطبيعية أو الصناعية – الرماد المتطاير الكلسي أو السيليكوني – الصخر الطيني المحروق)، إضافةً إلى هذه الأنواع الرئيسة، يتم إنتاج أنواع مركبة (تشكل نسب منخفضة من سوق الإنتاج) وهي الإسمنت البورتلاندي الكلسي، والإسمنت البورتلاندي المخلوط مع الرماد المتطاير، وإسمنت الفرن العالي المنخفض المقاومة المبكرة.

سيتم التطرق خلال هذه المحاضرة إلى الإسمنت الأكثر شيوعاً وهو الإسمنت البورتلاندي.

ثانيا: متانة الإسمنت

يعتمد تصنيف متانة الإسمنت على مقاومة الضغط لمدة 28 يوم، وذلك لأشكال موشورية من الملاط (المونة) وفقاً لمتطلبات المعيار البريطاني BS EN 196-1:2005، حيث يتم تصنيع عينات بأبعاد الميليمتر (40*40*160)، ليتم صبها بخلطة مكونة من (ثلاثة أجزاء من رمل قياسي وجزء من إسمنت قياسي ونصف جزء من الماء)، حيث يتم رج العينة وإنضاجها إلى توقيت مناسب، ثم تكسيرها إلى نصفين، واختبارها على الضغط عبر الوجه 40ملم، ويتم استعمال ثلاث عينات لتحديد القيمة الوسطية من القطع الست المختبرة.





ثالثاً: الإسمنت البورتلاندي

ترجع تسمية الإسمنت البورتلاندي إلى تشابه لون وجودة الإسمنت البورتلاندي مع بعض أحجار البناء المسماة بأحجار بورتلاند Portland Stone الموجودة في جزيرة بورتلاند بإنكلترا.



أ- تركيب الإسمنت البورتلاندي:

يتألف الإسمنت البورتلاندي من مجموعة مواد أولية هي حجر الطبشور أو الحجر الكلسي والصلصال، وهي تتألف بشكل أساسي من الكلس والسيليكا والألومينا وأوكسيد الحديد، ويوضح الجدول أدناه تركيب النموذجي للمواد الأولية المصنعة للإسمنت.

التركيب	الوصف	النسبة المئوية (%)
الكلس	نوع شائع من الصخور الرسوبية الكربونية، ويتكون في الغالب من معادن الكالسيت والأراجونيت، وهي أشكال بلورية مختلفة من كربونات الكالسيوم، يتشكل عندما تترسب هذه المعادن من الماء المحتوي على الكالسيوم المذاب.	68
السيليكا (ثنائي أوكسيد السيليكون)	ارتبط مصطلح السيليكا بالرمال منذ القدم، وعُدّتْ المكون الرئيس له، وهي نتاج ارتباط مادة السيليكون بثاني أكسيد الكربون والأوكسجين، وتعدّ المكون الرئيس لبعض المعادن المكونة للصخور كالكوارتز، ويتم استخدام المصطلح أيضاً في الإشارة إلى رمال السليكا، وهي رمال نقية بيضاء تحتوي على نسب عالية من ثاني أكسيد السيليكون تتجاوز 85%.	22
الألومينا (أوكسيد الألمنيوم)	مركب كيميائي من الألمنيوم والأكسجين، وهو مسحوق بلوري أبيض عديم الرائحة، وغير قابل للذوبان في الماء يعتبر الأكثر شيوعاً في حدوث العديد من أكاسيد الألمنيوم.	5
أوكسيد الحديد	مركبات كيميائية تتكون من الحديد والأكسجين، إذ يوجد ستة عشر أكاسيد حديد وأوكسي هيدروكسيدات معروفة، وأشهرها الصدأ.	3
أكاسيد أخرى	أوكسيد المغنزيوم وثالث أوكسيد الكبريت وأكاسيد الصوديوم والبوتاسيوم	2


الكلس — السيليكا — الألومينا — أوكسيد الحديد — أوكسيد المغنزيوم

تتفاعل المركبات بعضها مع بعض خلال عملية الكلنكرة لإنتاج المكونات الرئيسة للإسمنت البورتلاندي، كما هو موضح بالجدول أدناه. (حيث أن وجود الأكاسيد القلوية بنسب صغيرة يمكن أن يكون سبباً لحدوث تفاعل السيليكا مع القلويات، مما يؤدي إلى تشقق الخرسانة عند استعمال بعض الحصويات المحتوية على السيليكا).

المركب	الصيغة الكيميائية	رموز الإسمنت	الخواص
سيليكات ثلاثية الكالسيوم	$3CaO.SiO_2$	C_3S	تصلب سريع، يعطي مقاومة مبكرة ونشر سريع للحرارة
سيليكات ثنائية الكالسيوم	$2CaO.SiO_2$	C_2s	تصلب بطيء، يعطي تطوراً بطيئاً للمقاومة، ونشر بطيء للحرارة
ألومينات ثلاثية الكالسيوم	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A	ترسب سريع، يتم تأخيره بالجص، تصلب سريع للحرارة، ولكن مقاومة نهائية أقل، عرضة لهجوم الكبريتات
ألومينو حديد رباعي الكالسيوم	$4CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2\ O_3$	C_4AF	تصلب بطيء، بسبب اللون الرمادي في الإسمنت

تؤثر نسب هذه المكونات بشكلٍ كبير في الخواص النهائية لأنواع الإسمنت، لذلك تتم معايرة المواد خلال عملية التصنيع، لإنتاج المجال المطلوب للإسمنت، وتتضح التراكيب النموذجية لأنواع الإسمنت البورتلاندي في الجدول أدناه.

نوع الإسمنت	الصنف	المكونات (%)				النعومة (كغ/م²)
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4FA	
الإسمنت البورتلاندي	42.5	55	20	10	8	340
	52.5	55	20	10	8	440
الإسمنت البورتلاندي الأبيض	62.5	65	20	5	2	400
الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات	42.5	60	15	2	15	380

ب- تصنيع الإسمنت البورتلاندي:

تتم صناعة الإسمنت البورتلاندي من كربونات الكالسيوم Calcium Carbonate (CaCo3) في إحدى الأشكال التالية:

- حجر كلسي مكسر.
- حجر طبشوري ومادة طينية كالصلصال.
- المارل Marl، وهي مادة ترابية غنية بالمعادن الكربونية والطين والطمي (تربة أو راسبات مفككة وغير متصلدة)، تتشكل غالباً في البيئات البحرية أو المياه العذبة من خلال أنشطة الطحالب)
- الطفْل (الصخر الطيني) Shale.

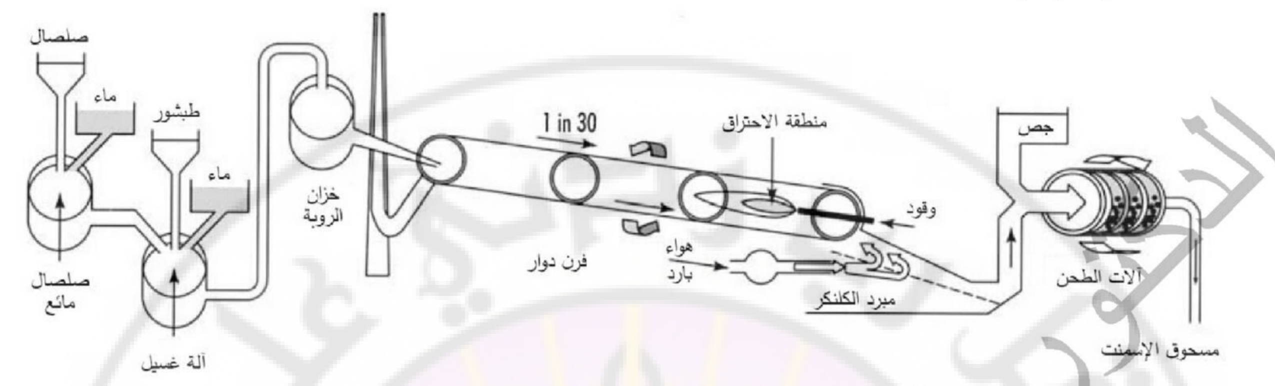
حالياً، تعتمد المملكة المتحدة في ثلثي إنتاج الإسمنت البورتلاندي على الحجر الكلسي، أما الباقي فعلى الحجر الطبشوري من جنوب وشرق البلاد، ويمكن إضافة مكونات ثانوية كأوكسيد الحديد أو الرمل اعتماداً على تركيب المواد الخام والمنتج الدقيق المطلوب.

تخضع عملية تصنيع الإسمنت البورتلاندي إلى أربع عمليات مختلفة: الرطبة، ونصف الرطبة، ونصف الجافة والجافة.

A. العملية الرطبة: تستعمل هذه العملية لمعالجة حجر الطبشور وصلصال المارل، حيث يتم خلط صلصال المارل مع الماء لتشكيل روبة، ويحضر روبة مكافئة من الحجر الطبشوري الذي يُخلط ويُغربل لإزالة أية مادة خشنة،



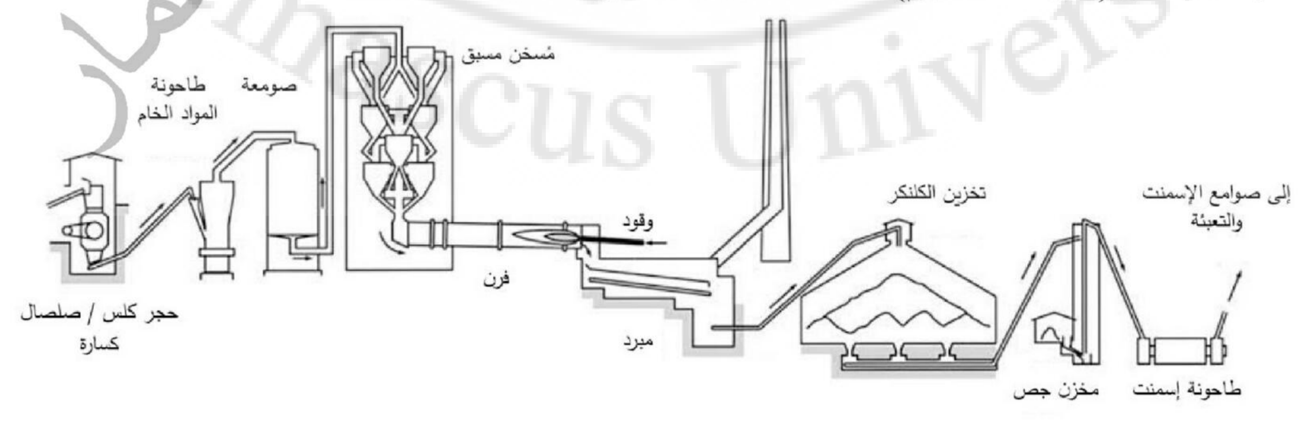
ثم يُخزن في خزانات روبة كبيرة، لتتم تغذية الروبة في قمة أفران كبيرة تدور ببطء (إن الأفران هي أسطوانات فولاذية مبطنة بالآجُر الناري المقاوم للحرارة بطول حتى 200م، يتم إشعالها بالفحم الحجري حتى درجة حرارة 1450 درجة مئوية تقريباً)، ثم يتم تجفيف الروبة، وتكلّس، وأخيراً تلبّد إلى كتل قاسية رمادية / سوداء من كلنكر الإسمنت.



B. العملية نصف الرطبة: تتم إذابة الطبشور في الماء، وخلطه في روبة صلصال المارل، ويُخفّض محتوى الماء ضمن الروبة من 40% إلى 19%، وذلك ضمن مكبس للترشيح، ثم يتم تشكيل الناتج عبر البثق باستخدام شبكة تسخين متحركة، أو تخفّض إلى كريات في جهاز مُجفف، ثم يتم تسخينها إلى درجة حرارة ما بين (900-1100) درجة مئوية ضمن دوامات برجية، وتكلّس، ويتم تحويل الخلطة بعدها لمدة قصيرة إلى فرن حرارته 1450 درجة مئوية لإنجاز عملية الكلنكرة.

C. العملية نصف الجافة: يتم في هذه العملية خلط مساحيق من الطفْل الجاف (الصخر الطيني) والحجر الكلسي، ليتم إضافة الماء بنسبة 12% بغرض تحويل الخليط إلى درنات، ثم يكلّس مقدماً، ويخضع لعملية الكلنكرة كما في الحالة نصف الرطبة.

D. العملية الجافة: يتم في هذه العملية طحن الحجر الكلسي والصخر الطيني والرمل نموذجياً إلى مساحيق ناعمة، وذلك بنسب (80 : 17 : 3)% على التوالي، ثم يتم خلطها لإنتاج الطحين الجاف (الذي يخرن في صوامع)، ثم يتم تمرير الطحين عبر سلسلة من الدوّامات، بدايةً باستعمال غازات الفرن (لتسخينه مقدماً إلى درجة حرارة 750 درجة مئوية)، ثم مع الوقود المُضاف (بهدف تكليسه مقدماً عند درجة حرارة 900 درجة مئوية) قبل تمريره إلى فرن ذي دوران سريع (بطول 60م للكلنكرة عند الدرجة 1450 درجة مئوية)، ومن الضروري تغذية الفرن بالمواد الخام المخلوطة بشكل كامل للمحافظة على ضبط جودة المُنتج، ثم يتم تبريد الكلنكر الرمادي المائل للسواد، ويُطحن مع إضافة الجص (كبريتات الكالسيوم) بنسبة لا تتعدى 5% لتأخير التصلب.



ج- أنواع الإسمنت البورتلاندي:

تعددت أنواع الإسمنت البورتلاندي، ويمكن التطرق إلى أشهرها كما يلي:

- **الإسمنت البورتلاندي الأبيض:** تتم صناعة الإسمنت البورتلاندي الأبيض بمواد خالية من أوكسيد الحديد والشوائب الأُخرى، التي تعطي اللون الرمادي للإسمنت البورتلاندي. حيث يتم استعمال الصلصال الطيني والحجر الكلسي عادةً، ويتم إشعال الفرن بالغاز الطبيعي أو النفط بدلاً من الفحم الحجري المسحوق، كما يتم استعمال المطاحن الخالية من الحديد في عمليات الطحن لمنع تلويث اللون، ولتعزيز اللون الأبيض يمكن إضافة 5% من صباغ أوكسيد التيتانيوم الأبيض، وبذلك يتم تسعير الإسمنت الأبيض ضعفي سعر نظيره من الإسمنت الرمادي.
- **الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات:** يعد مناسباً للأعمال المماسة للترب والمياه الجوفية (المحتوية على كبريتات ذائبة بنسب 2% في التربة أو 0.5% في المياه الجوفية)، ففي الإسمنت البورتلاندي العادي تكون ألومينات ثلاثية الكالسيوم المتميهة عرضةً لجهوم الكبريتات الذائبة، إلا أنه في الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات تكون نسبة هذا المكون 3.5% كحدٍ أقصى، كما يعرف هذا النوع باسم الإسمنت المنخفض القلوي؛ لاحتوائه على نسبة أقل من 0.6% من القلويات (كأوكسيد الصوديوم)، وبالتالي يعزز من تصنيع الخرسانة المعمرة، دون خطر تفاعل سيليكا مع قلوي آخر (بحصوياتٍ نشطة واستعمالٍ للإسمنت بعيار حتى 500 كغ/م^3، شريطة عدم وجود قلويات أُخرى).
- **الإسمنت البورتلاندي ذو حرارة الإماهة المنخفضة:** يمكن أن يتسبب الانتشار السريع للحرارة تشققاً في الأعمال المنجزة بالإسمنت البورتلاندي العادي، لذلك يتم اللجوء إلى الإسمنت البورتلاندي المنخفض حرارة الإماهة، وذلك لأنه يحتوي نسباً أعلى من سيليكات ثنائية الكالسيوم (التي تتصلب وتنشر حرارة ببطءٍ أكثر)، لذلك يتم استخدامه في الأبنية الكتلية كالسدود.
- **الإسمنت البورتلاندي المخلوط:** يُمكن تعريف الإسمنت المخلوط بأنه مزيج موحد من الإسمنت البورتلاندي العادي، ومواد مزج مثل أبخرة السيليكا والرماد المتطاير والحجر الجيري والخبث، بهدف تعزيز خصائصه للاستخدامات المختلفة، حيث يمكن للإسمنت المخلوط تحسين قابلية التشغيل والقوة والمتانة والمقاومة الكيميائية للأعمال الخرسانية، ليتم تجميع المواد عن طريق طحنها معاً كجزء من عملية تصنيع الإسمنت أو عن طريق مزجها معاً بعد الطحن. كما يتم استبدال مكملات الإسمنت البورتلاندي بمواد يتم إعادة تدويرها غالباً كمنتجاتٍ ثانويةٍ من صناعاتٍ أُخرى).
- **الإسمنت البورتلاندي الخاص بأعمال البناء:** تتحدد خواص ملاط الإسمنت البورتلاندي العادي بقوةٍ كبيرة، مما يؤدي إلى حدوث تشققات عند استخدامه مع أعمال بناءٍ أُخرى كالأجُر أو البلوك، في حين يُنتج الإسمنت الخاص بأعمال البناء ملاطاً أضعف، محافظاً بذلك على سلامة الأجُر والبلوك، إذ يحتوي على مواد مالئة معدنية حافظة للماء، وعناصر إدخال الهواء (لإعطاء قابلية تشغيل أعلى)، حيث يُخلط مع رمل بناء بالنسب ما بين (1: 4 – 1: 6.5) وفقاً لدرجة تعرض أعمال الأجُر أو البلوك، ولا ينبغي خلطه مع إضافاتٍ أُخرى، كما يعد مناسباً للاستعمال في أعمال الطينة، عبر إدخال صباغات لا عضوية لإضفاء أثر بصري مميز (فيما عدا تلك المحتوية على الكربون الأسود)، ولا يمكن استعمال هذا الإسمنت في أعمال تسوية الأرضيات أو أعمال الخرسانة.

- **إسمنت الخبث والفرن العالي البورتلاندي:** يُعرف خبث الفرن العالي بأنه مادة رابطة تتحد مع الإسمنت البورتلاندي وحصويات ملائمة، ليتم الحصول على خرسانة تمتاز بالديمومة (ذات نفوذية أخفض من خرسانة الإسمنت البورتلاندي لوحده)، كما تمتاز بمقاومة هجوم الكبريتات والأحماض الضعيفة والكلوريدات (التي يمكن أن تسبب تآكلاً سريعاً للتسليح الفولاذي)، حيث يمكن أن يُطحن خبث الفرن العالي سويةً مع كنكر الإسمنت البورتلاندي في مطحنة الإسمنت، بالرغم من أنه عادةً ما يُخلط مع الإسمنت البلورتلاندي في الوقع. ويعتبر خبث الفرن العالي منتج ثانوي من عمليات تصنيع الحديد في إطار صناعة الفولاذ، إذ تتم تغذية خام الحديد والحجر الكلسي والفحم بشكلٍ مستمر في الأفران العالية، حيث تنصهر عند الدرجة 1500 درجة مئوية في طبقتين، ليغوص الحديد المصهور إلى الأسفل تاركاً خبث الفرن العالي طافياً على السطح، ثم يتم تبريد خبث الفرن العالي المصهور بشكلٍ سريع بالماء، وبعد التجفيف تُطحن حبيبات أو كريات خبث الفرن العالي، لتتحول إلى مسحوق ناعم أبيض مائل للأصفر، ويكون تركيب المادة مشابهاً لتركيب الإسمنت البورتلاندي.
- **إسمنت الرماد المتطاير والبوزولانية البورتلاندية:** ينتج الرماد المتطاير (المسمى سابقاً رماد الوقود المسحوق) من فضلات محطات توليد الكهرباء التي تعمل على الفحم الحجري، حيث ينضج إسمنت الرماد المتطاير البورتلاندي، وينشر الحرارة بمعدل أبطأ من الإسمنت البورتلاندي العادي، لذا فهو ملائم للاستعمال في الخرسانة الكتلية (لخفض خطر التشقق الحراري)، ويُستعمل الرماد المتطاير بإضافته إلى الإسمنت البورتلاندي بنسبة تصل عادةً إلى 25%، حيث يمتاز إسمنت الرماد المتطاير البورتلاندي بمقاومة لدخول الكلوريدات التي تتسبب بتآكل حديد التسليح الفولاذي، وبمقاومة عالية للكبريتات (إلا أنه عنجد وجود المياه الجوفية بتركيز مرتفع من المغنزيوم، فيجب استعمال الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات)، كما أن المواد البوزولانية هي مواد طبيعية أو مصنعة، تحتوي على السيليكا التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج عن إماهة الإسمنت البورتلاندي، وذلك للحصول على منتجات إسمنتية إضافية.



المحاضرة الثامنة

البلوك وأشغال البلوك

البلوك (الطوب) عبارة عن وحدة بناء ذات حجم قياسي، يتم استخدامها بكثرة في أغلب الأعمال الإنشائية والمعمارية (الجدران الخارجية – الجدران الداخلية – أسقف الهوردي.. إلخ)؛ بسبب قلة تكلفتها ووفرة المواد الأولية وسهولة تصنيعها.

تختلف أنواع البلوك، وتتعدد بتعدد استخداماتها، ولكنها تتفق في المواصفات المطلوبة والتي تحددها اختبارات معينة (امتصاص الماء – قوة الانضغاط)، مرتبطةً بأبعاد البلوك وشكله النهائي.

خلال هذه المحاضرة سيتم التعرف على البلوك بصورةٍ عامة، ومن ثم التركيز على البلوك الخرساني (الإسمنتي).

1- تصنيفات البلوك:

يُمكن تصنيف البلوك تبعاً للوظيفية والمظهر الخارجي والمواد المكونة له.

أ- تصنيف البلوك تبعاً للوظيفة:

- بلوك الجدران الحاملة Load Bearing Wall Blocks.
- بلوك الجدران غير الحاملة Non-Load Bearing Wall Blocks.
- بلوك الأسقف Roof Blocks.
- بلوك تزييني Claustra Blocks – Grill Blocks.

بلوك الجدران الحاملة

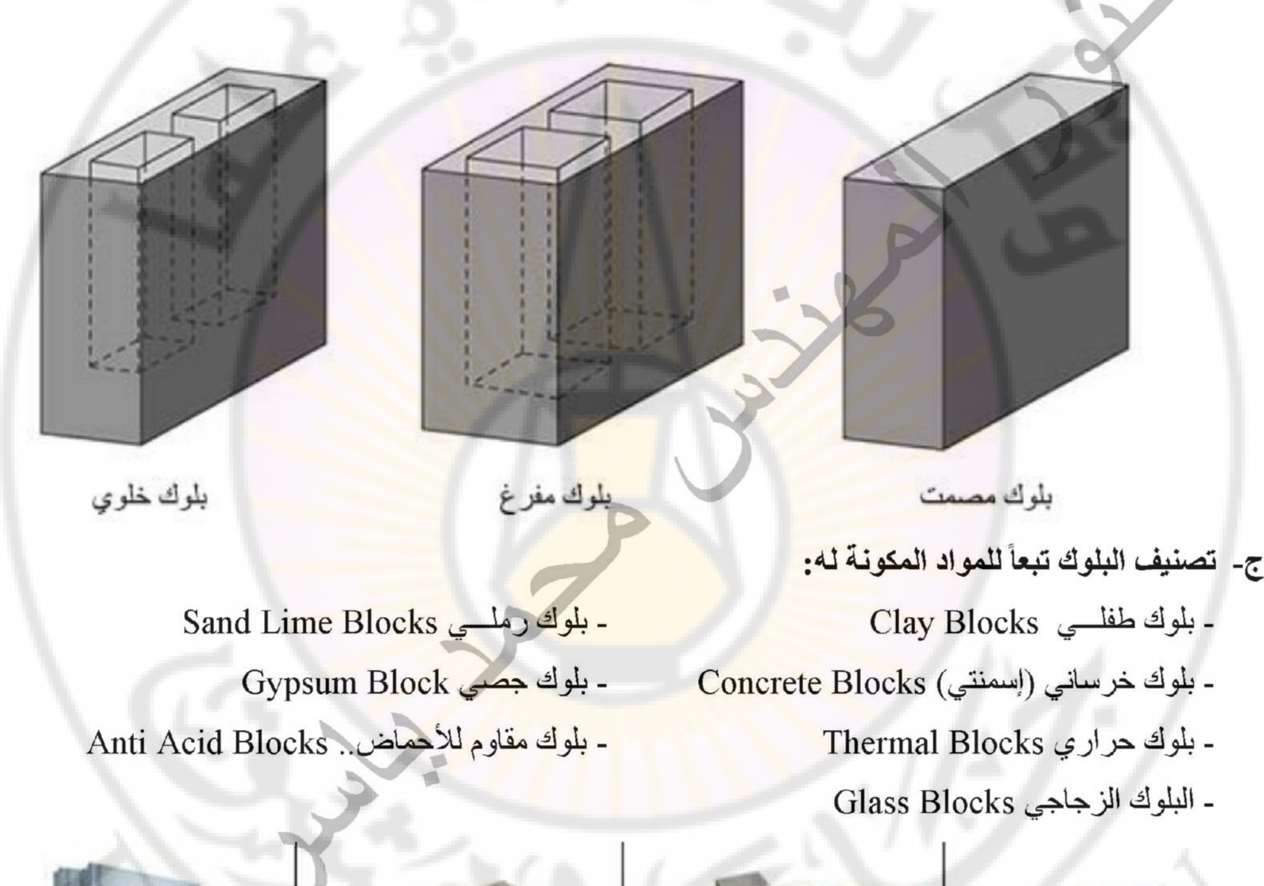
بلوك الجدران غير الحاملة

بلوك الأسقف

بلوك تزييني

ب- تصنيف البلوك تبعاً للشكل:

- **بلوك مصمت Blocks Solid:** هو البلوك الذي لا يحتوي على فراغات أو تجاويف، أو الذي لا تزيد نسبة الفراغات عن 25% من حجمه الفعلي.
- **بلوك مفرغ Hollow Blocks:** هو البلوك الذي تكون نسبة الفراغات فيه ما بين (25-50)% من حجمه الفعلي، ولا تزيد عن ذلك.
- **بلوك خلوي Cellular Blocks:** هو البلوك الذي فيه 25% فراغات من حجمه الفعلي، ولكن فتحاته من جانب واحد.



ج- تصنيف البلوك تبعاً للمواد المكونة له:

- بلوك طفلي Clay Blocks
- بلوك خرساني (إسمنتي) Concrete Blocks
- بلوك حراري Thermal Blocks
- البلوك الزجاجي Glass Blocks
- بلوك رملي Sand Lime Blocks
- بلوك جصي Gypsum Block
- بلوك مقاوم للأحماض.. Anti Acid Blocks



2- شكل وأبعاد البلوك:

يجب أن يكون البلوك، وأن تكون زواياه وجوانبه مستقيمة وسليمة، وأن يكون سطح البلوك خالي من التشققات والعيوب الظاهرة، وأن تكون الأسطح خشنة تسمح بالتصاق المونة وغيرها من مواد التشطيبات، ومن الواجب التنويه إلى أنه توجد أشكال كثيرة لفتحات البلوك، منها ما هو بفتحة أو ثلاث فتحات مربعة أو على شكل بيضوي أو مستطيل.

تعددت أبعاد البلوك، وسيتم ذكر الأبعاد كثيرة الاستعمال بوحدة قياس الميليمتر، ومنها:

- **البلوك المصمت:**

  الخرساني (ملم): (500*300*200) – (300*200*150) – (300*200*100).

  الرملي (ملم): (400*200*200) – (400*200*150).

  الآجري (ملم): (250*120*70) – (250*120*60) – (230*110*55).

- **البلوك الخلوي الخرساني** (ملم)**:** (400*200*200) – (400*200*150) – (400*200*100).

- **البلوك المفرغ للأسقف** (ملم)**:** (400*200*150) – (400*200*200) – (400*200*250).

3- البلوك الخرساني (الإسمنتي):

يتكون البلوك الخرساني (الإسمنتي) من المواد التالية:

أ- الإسمنت: يعد الإسمنت البورتلاندي العادي الأكثر استخداماً، كما يُمكن استخدام أي نوع آخر من الإسمنت.

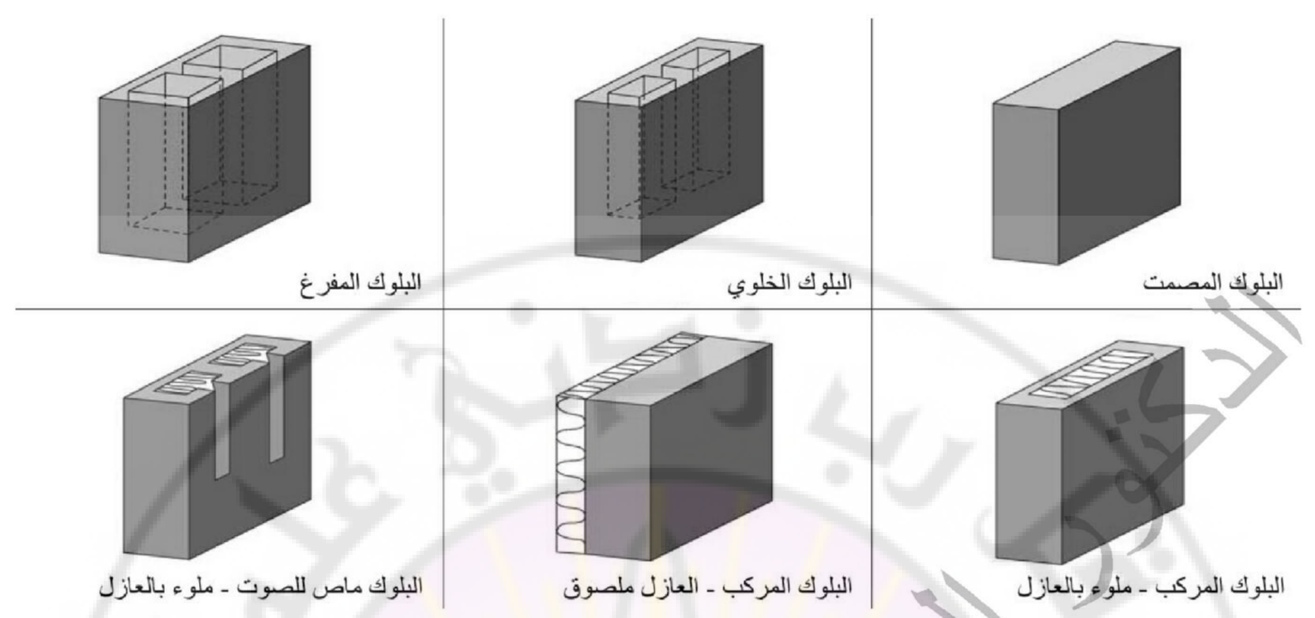
ب- الركام: ستعمل عادةً الركام الطبيعي الناتج من كسر الأحجار الطبيعية، أو حصى الوديان، أو الرمل المتدرج. ويلزم أن يكون الركام نظيفا عند الخلط، وخاليا من المواد الضارة، كالأملاح القابلة للذوبان؛ التي تسبب التزهير (التملح)، أو تؤثر على تماسك الخلطة، كما يمكن استخدام الركام الصناعي في إنتاج البلوك الخرساني ومواد الخبث والرمل الخفيف.

ج- الماء: يجب أن يكون الماء المستعمل في الخلطة الخرسانية لصناعة البلوك نظيفاً، صالحاً للشرب، خالياً من الشوائب والأملاح والمواد العضوية والكلوريدات، وخالياً من الزيوت والشحوم والأحماض والقلويات والمواد الطينية؛ لكي لا تؤثر هذه الشوائب والمواد الضارة على جودة البلوك المنتج.

د- المواد الإضافية: يمكن استعمال مواد مُضافة بنسب مقننة، مثل مبطئات الشك، أو المستخدمة في تحسين العملية التشغيلية أو خفض النفاذية، بحيث لا تؤثر كمية ونوعية المواد المُضافة (في حالة استعمالها للتلوين أو للتحكم في زمن الشك أو التصلد أو المسامية) تأثيراً ضاراً على المنتج النهائي، كما يجب مراجعة تعليمات الشركة المصنعة لهذه المواد وتحت إشراف هندسي.

تتعدد أنواع البلوك الخرساني، منها:

- البلوك المصمت
- البلوك الخلوي
- البلوك المفرغ
- البلوك المركب (المملوء بالعازل)
- البلوك المركب (العازل ملصوق)
- البلوك ماص للصوت (مملوء بالعازل)

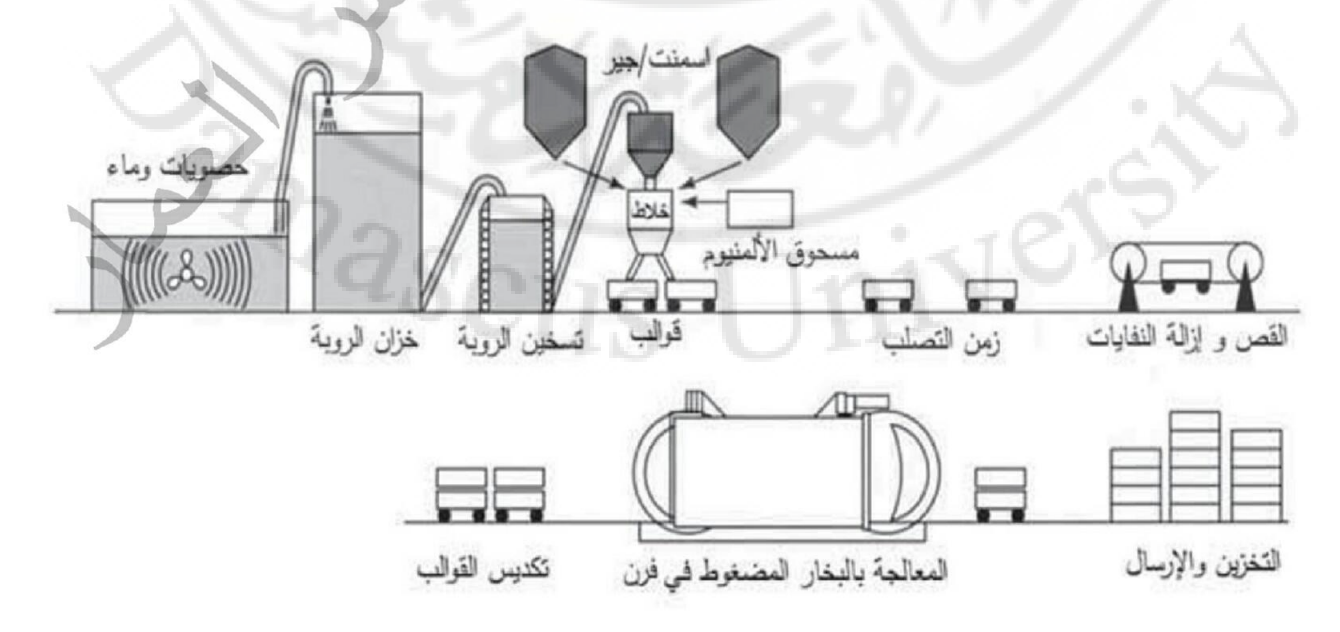


1-3- تصنيع البلوك الخرساني (الإسمنتي):

يتم خلط مكونات الخلطة الخرسانية للبلوك في خلاط آلي لضمان تجانس الخليط، ويجب أن تكون الخلطة جافة، أي ذات قوام مناسب للكبس (نسبة الماء لا تزيد عن 20-25%)، ثم يوضع الخليط في القالب، ويدمك القالب ويُرج جيداً، وبعدها يتم تفريغ القالب من البلوك المصنع، ويوضع البلوك في مكان التجفيف لمدة 24 ساعة على الأقل.

كما يجب رش وترطيب البلوك بالماء لمدة لا تقل عن 3 أيام (مرتين في اليوم صباحاً ومساءً، ويفضل أن تكون مدة المعالجة أسبوعاً على الأقل ليكتسب البلوك صلابته، بحيث يتحمل عملية التخزين والنقل والشحن والإرسال.

ومن الضروري التنويه على أنه يتم تصنيع البلوك الكثيف (الصلب أو الخلوي أو المفرغ) من الحصويات الكثيفة الطبيعية، بما فيها الغرانيت المسحوق والحجر الجيري والحصى، بينما يتم تصنيع البلوك الخرساني المتوسط والخفيف الوزن بمزج مجموعة واسعة من الحصويات، بما فيها الصلصال المتمدد وخبث الأفران العالية المُتمدد والرماد الملبّد والخفان.



2-3- خواص البلوك الخرساني (الإسمنتي):

إن أهم المتطلبات والخصائص المطلوبة للبلوك الخرساني حسب المواصفات المختلفة هي:

- **المظهر الخارجي:** يجب أن يكون البلوك الخرساني سليماً وخالياً من الشروخ وكسر الأطراف، والعيوب الأخرى؛ التي قد تؤثر على وضع البلوك في أماكنه وضعاً سليماً.

- **الأبعاد والمقاسات:** يوجد مقاسات مختلفة حسب مواصفات كل بلد تهتم بالطول والعرض والارتفاع وتعطى بالميليمتر، وقد تسمح المواصفات بتفاوت في أبعاد البلوك بمقدار محدد (مثلاً ± ٤ ملم).

- **الوزن الحجمي:** يعد الوزن الحجمي للبلوك الخرساني ذا أهمية لمعرفة جودة الخرسانة، حيث تشترط بعض المواصفات بأن يصنف البلوك المصمت والمفرغ حسب هذه الخاصية (يتراوح الوزن الحجمي للبلوك من 1.7 إلى 2 جم/سم^2.

- **نسبة الفراغات:** يقصد بها الفراغات المشكلة صناعياً، حيث تشترط المواصفات ألا تزيد هذة الفراغات عن نسبة معينة حسب سماكة البلوك (وهي تتراوح ما بين 37-51 %).

- **امتصاص الماء Water absorption والانكماش Drying shrinkage:** يجب ألا يزيد امتصاص البلوك الخرساني للماء على 20% بالوزن للبلوكة الواحدة، وألا يزيد متوسط مقدار الانكماش بالتجفيف على 0.06%.

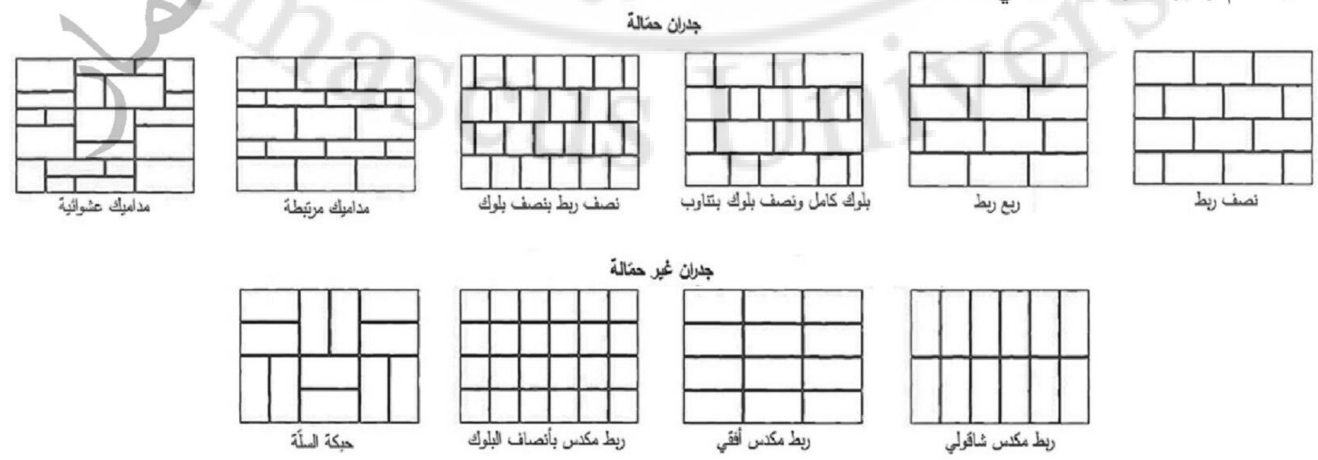
- **مقاومة الضغط:** تشترط المواصفات بأن مقاومة البلوك للضغط والمستخدم في أعمال الجدران الحاملة لا تقل (الحد الأدنى لمتوسط مقاومة الضغط) عن ٧٥ كغ/سم^2، بينما البلوك المستخدم في الجدران غير الحاملة لا تقل مقاومته للضغط عن 30 كغ/سم^2.

4- أشغال البلوك:

سيتم التطرق إلى العمليات المرتبطة بإنجاز أشغال البلوك.

1-4- الربط في البلوك:

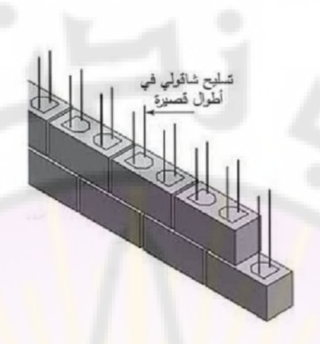
يعد الربط بنصف بلوكة معيارياً، لكن قد يخفض ذلك إلى ربط ربعي لأسباب جمالية؛ إذ قد يتم إدراج حزام من الآجر الخرساني في أعمال البلوك، ولكن بسبب الاختلافات في الحركة النتاجة من الحرارة والرطوبة، لا يُنصح بخلط الآجر الصلصالي مع البلوك الخرساني. يمكن استخدام الربط المكدس الشاقولي والأفقي والأشكال الأكثر تعقيداً، مثل ربط حبكة السلة، لملء الألواح ضمن المباني ذات الأطر، وتتطلب هذه الألواح تسليحاً ضمن الوصلات الأفقية المتناوبة للتعويض عن عدم وجود الربط الطبيعي.



4-2- التسليح في أعمال البلوك:

تحتاج أشغال البلوك إلى تسليح للوصلات الأفقية من أعلى وأسفل الفتحات، ويجب ألا تقل سماكة طبقة غطاء التسليح الأفقي عن 25 ملم عند الأوجه الخارجية، وعن 13ملم عند الأوجه الداخلية، ويمكن إدراج تسليح شاقولي آخر في أشغال البلوك المجوف في الأماكن التي تتطلب مقاومة الإجهادات، وتكون الحالات النموذجية ضمن الجدران الاستنادية للأقبية..







4-3- الملاط في البلوك:

يجب أن يكون الملاط أضعف من البلوك ليسمح بالحركة، فالنسب الحجمية في الخلطات العادية للوصلات المعيارية بسماكة 10 ملم، هي كالآتي:

(1 : 4) – (1 : 5) والتي تدل على (إسمنت : رمل)، وقد يكون هناك حاجة لاستخدام إسمنت مقاوم للكبريتات، تبعاً لظروف التربة.

(1 : 5) – (1 : 6) والتي تدل على (إسمنت : رمل + ملدن)

(1 :1 :5) – (1: 1.5: 4.5) والتي تدل على (إسمنت : جير (الكلس) : رمل)

وعند الحاجة إلى أشغال بلوك بمقاومة عالية ينبغي استعمال ملاط أقوى.



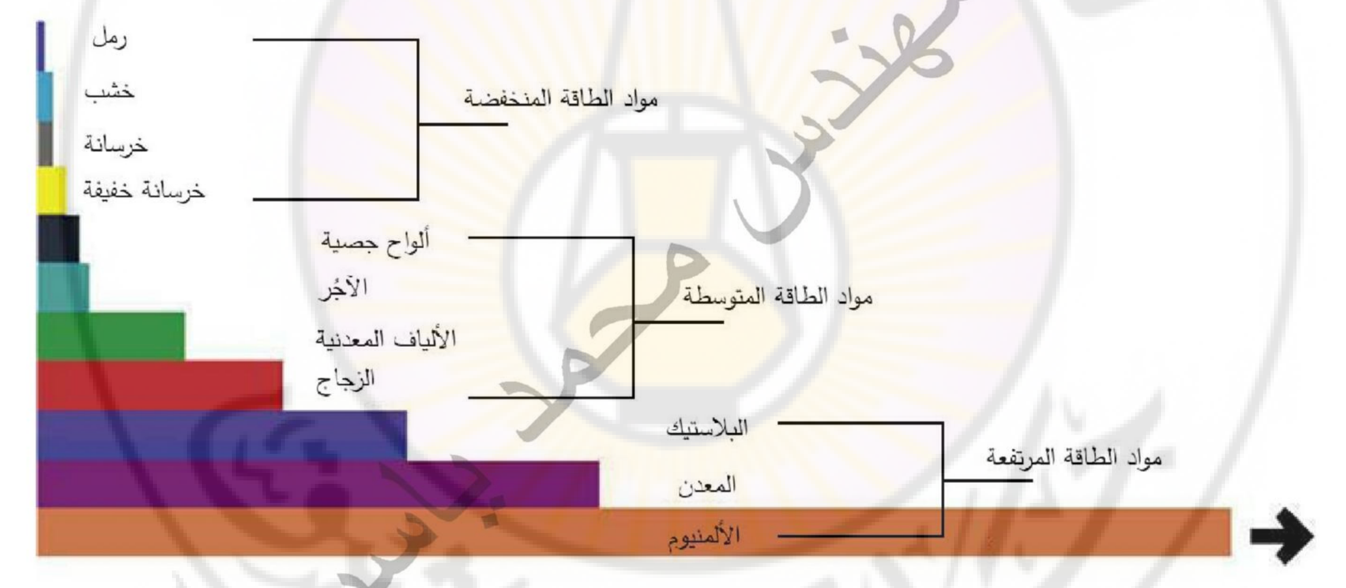
المحاضرة التاسعة

الخشب (التصنيف – المنتجات)




يحتفظ الخشب بأهميته الرئيسة في التشييد، بسبب تعدد مجالات استعماله وتنوعه وخواصه الجمالية، ويعود ذلك إلى أن الغابات تغطي نحو 20% من مساحة اليابسة، ونحو ثلثي هذه المساحة تقريباً أخشاب قاسية في الأقاليم المدارية (التي تصل إلى مرحلة النضج خلال عمر الإنسان)، وثلثها الآخر أخشاب طرية في الأقاليم المعتدلة والباردة (التي تصل إلى نصف فترة الأخشاب القاسية لكي تنضج)، ويُستعمل ما يقارب ثلث المحصول السنوي من الأخشاب حول العالم في البناء، ليتم استهلاك الباقي لإنتاج الورق أو كوقود أو يذهب هدراً أثناء عملية قطع الأشجار.

تتعتبر الأخشاب مصدراً متجدداً ومقبولاً بيئياً، بالمقارنة مع مواد البناء الأساسية الأُخرى، كما هو موضح بالشكل أدناه (ومن الواجب التنويه إلى أن القيم الحاصلة ناتجة عن وزن غاز ثاني أوكسيد الكربون الناتج عن عمليات الاستخراج والتصنيع والتشييد)، حيث تستهلك مواد البناء الأُخرى (الآجُر – الفولاذ – البلاستيك – الألمنيوم..) طاقةً أكبر في إنتاجها، وبالتالي تسهم كثيراً في انبعاثات غاز ثاني أوكسيد الكربون، أما الأشجار فلا تتطلب إلا القليل من الطاقة لتحويلها إلى أخشاب قابلة للاستخدام، فضلاً عن الدور الفاعل للأشجار في امتصاص غاز ثاني أوكسيد الكربون وطرح الأوكسجين في الجو.



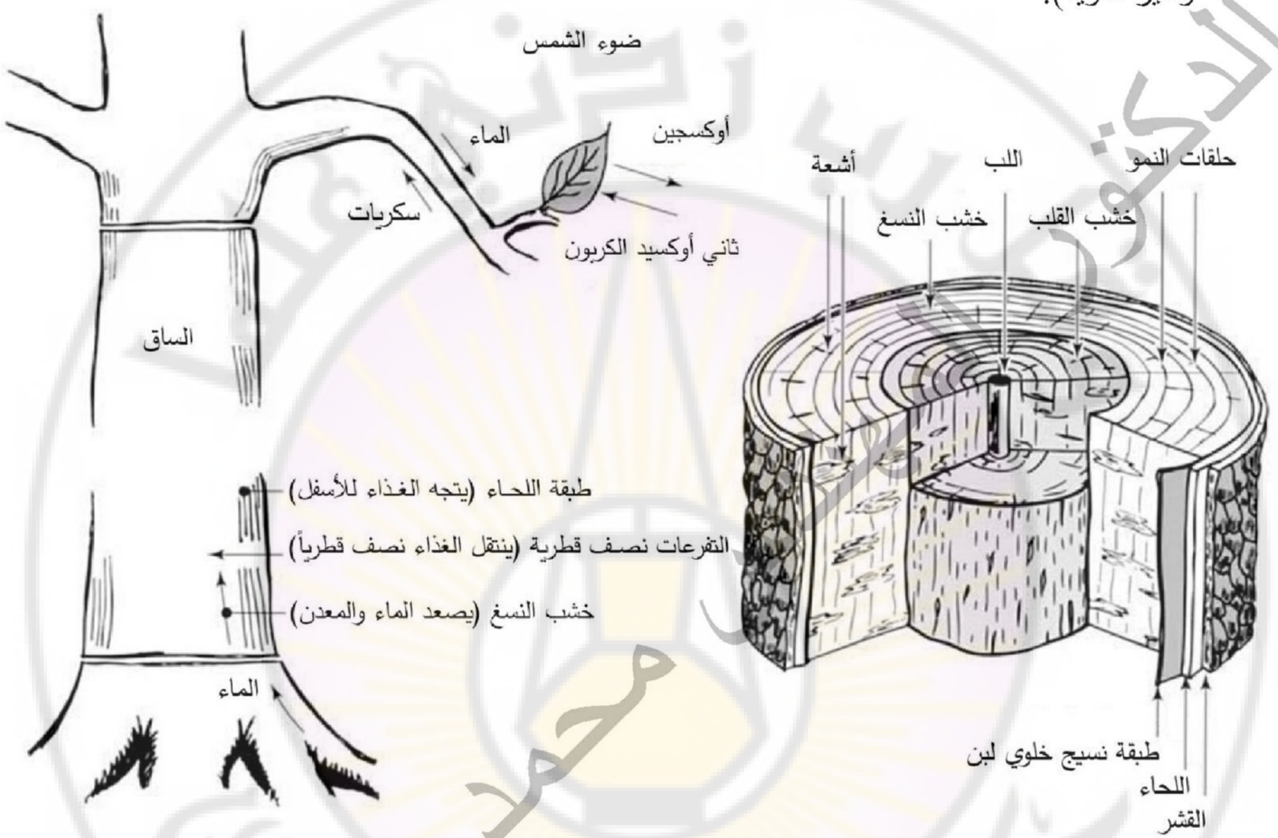
تعد الشجرة كائناً حياً معقداً، مكوناً من ثلاثة أجزاء:

أ- **الجذور:** التي تمتص الماء والمعادن الذائبة في التربة.

ب- **الأغصان مع أوراقها:** تمتص الأوراق غاز ثاني أوكسيد الكربون من الجو، ليتحد الغاز مع الماء لإنتاج السكريات، وذلك بوجود أشعة الشمس إلى جانب الكلوروفيل كمحفز، وتقوم الأوراق بطرح الأوكسجين، من ثم تنتقل السكريات في محلول مائي من الأغصان إلى الجذع، ليتم تحويلها لاحقاً إلى سيلولوز الشجرة من أجل عملية النمو.

ج- **الساق (الجذع):** يمنح المقاومة البنيوية للشجرة، ويعمل كخزان للفلزات والمواد المغذية مثل النشاء، وأيضاً كوسيط ناقل باتجاهين؛ حيث يقوم اللحاء بنقل السكريات بوساطة طبقة اللحاء الداخلي، لتقوم التفرعات القطرية بنقل الغذاء إلى خلايا خشب النسغ لتخزينه، إضافةً إلى ذلك يوجد داخل اللحاء الداخلي طبقة رقيقة طرية (الطبقة المولدة)، التي تعمل تعد طبقة نمو اللحاء الخارجي وخشب النسغ، إذ يحدث النمو فقط عندما تكون

هذه الطبقة نشطة، وتكون كذلك في المناخات المعتدلة خلال فصلي الربيع والصيف، إضافةً إلى ذلك يقوم اللحاء بالحماية من درجات الحرارة المرتفعة ومن الأضرار الميكانيكية. يُظهر مقطع عرضي في جذع الشجرة حلقات النمو، والتي يُشار إليها أحياناً كحلقات سنوية (قد تؤدي أنماط النمو غير الاعتيادية إلى حلقات متعددة في العام الواحد، وذلك في المناخات الاستوائية، حيث تكون التغيرات الموسمية أقل وضوحاً، لتكون حلقات النمو أقل تمايزاً وغير سنوية).



1- مكونات الخشب:

يتكون الخشب بشكلٍ أساسي من بولميرات طبيعية (البوليمرات هي مواد مصنوعة من سلاسل طويلة ومتكررة من الجزيئات، لهذه المواد خصائص فريدة من نوعها، اعتماداً على نوع الترابط فيما بينها وطريقته)، هي:

أ- **السيلولوز Cellulose:** يعتبر المكون الرئيس لجدران الخلايا، وهو بولمير مصنوع من الغلوكوز، الذي ينتج مباشرةً من عملية التركيب الضوئي داخل أوراق الشجرة، إذ ترتبط جزيئات الغلوكوز بعضها مع بعض لتشكل سلاسل السيلولوز، التي تحتوي عادةً على 10000 وحدة سكر، تُشكّل سلاسل السيلولوز المتناوبة

$$6CO_2 + 6H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ثاني أوكسيد الكربون، الماء ← غلوكوز، أوكسجين

غلوكوز

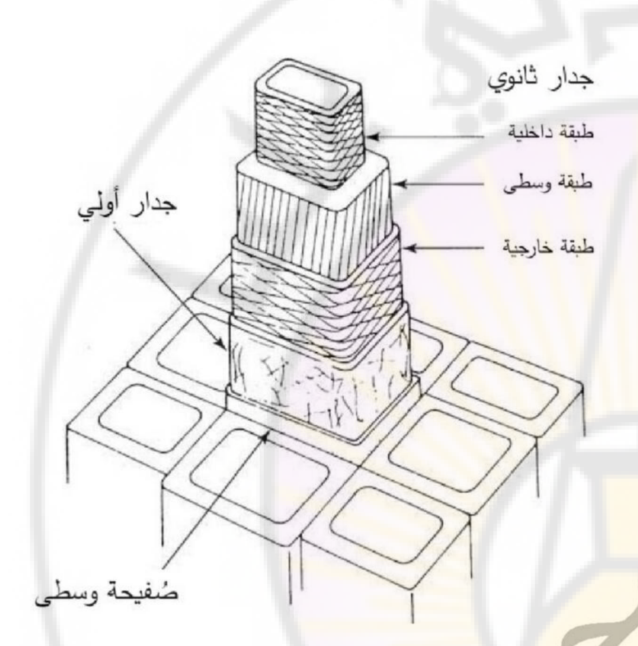
وحدة سيلولوز




(التي تنمو في اتجاهات معاكسة بعضها لبعض) مادةً بلورية جيدة الانتظام بشكلٍ غالب، وتعطي ما يقارب 45% من الوزن الجّاف للخشب.

ب- **شبيه بالسيلولوز Hemicellulose:** مادة بولميرية بلورية، مكونة من أنواع مختلفة من السكريات، حيث أن السلاسل الجزيئية فيها أقصر من تلك التي في السيلولوز، وتنتج مادة أكثر هلامية، وتشكّل ما يقارب 25% من وزن الخشب.

ج- **الخشبين Lignin:** مادة بولميرية لا بلورية، غير قابلة للذوبان، تتكون بشكلٍ رئيسي من مشتقات البنزين المجمع، لتشكل بنية معقدة ذات سلاسل مفترعة، وتشكّل مادة الخشبين ما يقارب 25% من وزن الخشب.



تجتمع المكونات الرئيسة الثلاثة لتشكل لُييفات مكروية (Microfibrils)، والتي تُعد لبِنات بناء جدران الخلية، حيث تُحاط سلاسل السيلولوز البلورية بالشبيه السيلولوز شبه البلوري، تليها طبقة من السيلولوز غير المتبلور، تلتصق في النهاية ببعضها مع الخشبين، لتشكل جدران الخلية الواحدة، وتتراكم ملايين من هذه الليبفات الميكرويّة في طبقات لتشكل جدران الخلية الواحدة، وتعطي هذه البنية المركبة المقاومة الفيزيائية للخشب، حيث يسهم السيلولوز بشكلٍ رئيسي بخواص قابلية الشد، ويساهم الشبيه السيلولوز والخشبين بتشكيل قوة الضغط والمرونة.

تحتوي الأخشاب بالإضافة إلى المكونات الرئيسة الثلاث وكمياتٍ كبيرة من الماء، على كثيرٍ من المكونات الثانوية، كالترتينجات والأصماغ والعفْص Tannins (مركبات بوليفينولية Polyphenols قابلة للذوبان في الماء)، مرافقاً لتحول خشب النسغ إلى خشب القلب. ويعد النشَاء الموجود في خشب النسغ جاذباً للفطريات، وكذلك فإن الحبيبات اللاعضوية في الخشب (مثل السيليكا) تجعل العمل ببعض الأخشاب المدارية القاسية صعباً (مثل خشب الساج Teak).

تنشأ الألوان المختلفة للخشب من المكونات الثانوية، لأن السيلولوزات المختلفة والخشبين لا لون لها فعلياً، حيث أن بعض الألوان ملازمة للسلاسل البولميرية، لكن بعضها الآخر عبارة عن أصباغ حساسة للضوء، تتلاشى عند التعرض المديد لأشعة الشمس، ما لم يُطلى الخشب بطبقة ماصة للأشعة فوق البنفسجية.

2- تصنيفات الخشب:

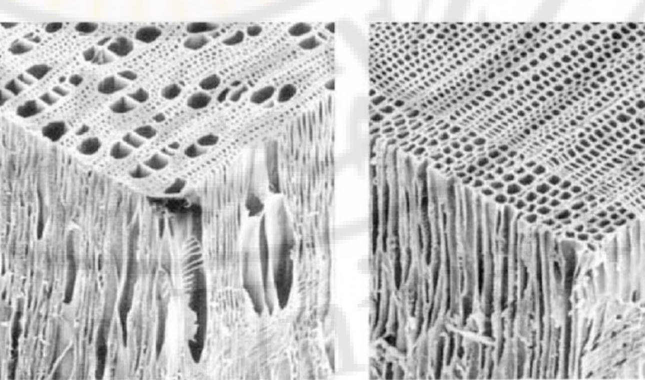
تُعرف الأخشاب التجارية كأخشاب قاسية أو طرية وفقاً لتصنيفها النباتي، بدلاً من مقاومتها الفيزيائية، مع أن مصطلحي الخشب القاسي والخشب الطري ناتجان عن المقاومة الفيزيائية للأخشاب، لكن للمفارقة فإن شجر البلزا أو البلسا Ochroma lagopus / Balsa هو خشب قاسٍ نباتياً، في حين يُعرف خشب الطقسوس Yew / Taxus Baccata بأنه خشب طري نباتياً على الرغم من أنه مادة قاسية وتتمتع بالديمومة.

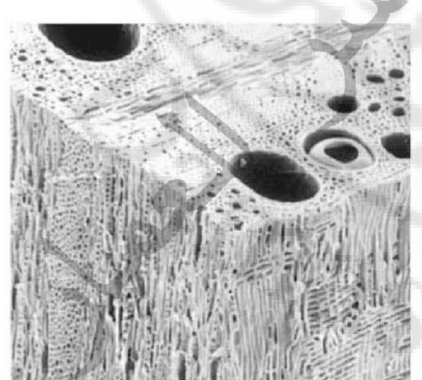


خشب البلزا

خشب الطقسوس

- **الأخشاب الطرية:** تعتبر الأخشاب الطرية (عاريات البذور Gymnosperms) من الصنوبريات Conifers، التي تتميز بأوراقها إبرية الشكل، وتنمو غالباً في المناطق الشمالية المعتدلة، وتكون في الغالب دائمة الخُضرة (باستثناء شجرة لارسك الأوروبية (European Larch / Larix Decidua).
- **الأخشاب القاسية:** تأتي الأخشاب القاسية (كاسيات البذور Angiosperms) من الأشجار عريضة الأوراق، التي تسقط أوراقها في الخريف (متساقطة الأوراق Deciduous) في المناخات المعتدلة، مع أنها في المناخات المدارية (حيث التغيرات الفصلية الطفيفة) تقوم دائماً باستبدال الأوراق القديمة بأوراق جديدة، وتمتلك الأخشاب القاسية بنية خلوية أكثر تعقيداً من الأخشاب الطرية مع خلايا كبيرة أو أوعية للقيام بالوظائف، وخلايا أصغر وألياف خشبية توفر الدعم الميكانيكي، ووفقاً لحجم الأوعية تقسم إلى مجموعتين متميزتين:
  - **الأخشاب القاسية منتشرة المسام Diffuse Porous:** تمتلك أوعية متماثلة القطر، موزعة بالتساوي تقريباً في جميع أنحاء الخشب، وتشمل الزان والبتولا ومعظم الأخشاب القاسية الاستوائية.
  - **الأخشاب القاسية حلقية المسام Ring Porous:** تمتلك أوعية كبيرة تتركز في الخشب المُبكر، وأوعية صغيرة فقط في الخشب المتأخر، ومن بينها البلوط وشجر الدردار (لسان العصفور) وشجر البق.





الأخشاب الطرية
الخشب الاسكتلندي pinus Sylvestris

الأخشاب القاسية منتشرة المسام
البتولا Betual Pendula

الأخشاب القاسية حلقية المسام
بلوط مزند Quercus Robur

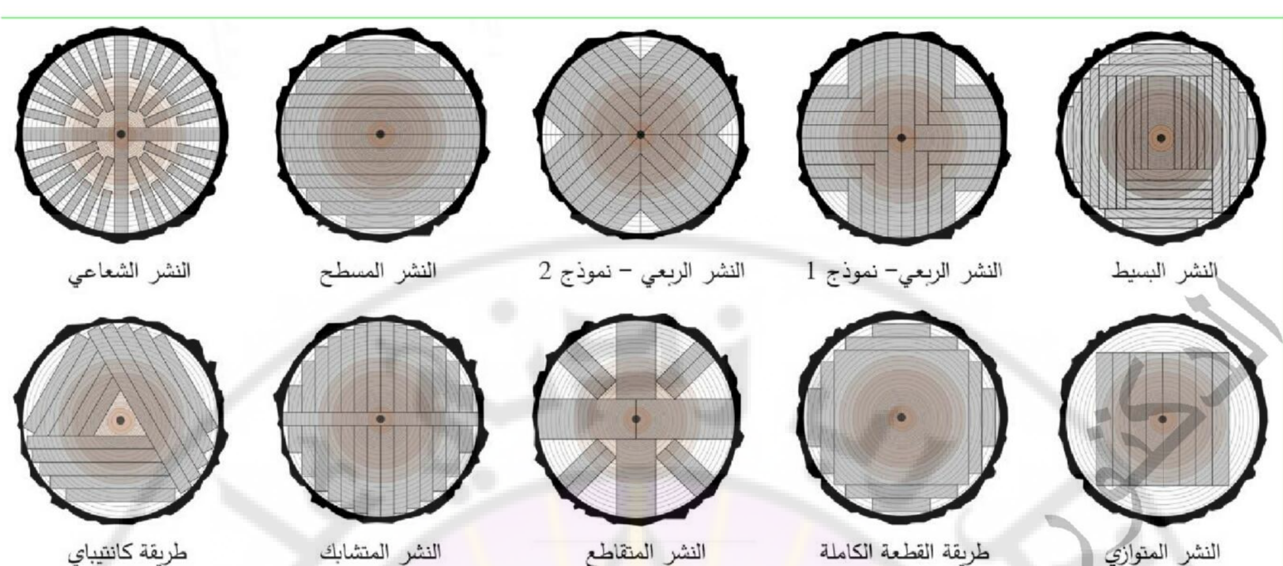
3- تحويل الخشب وتجفيفه:

إن تحويل الخشب هي عملية قطع جذوع الأشجار أو السوق إلى مقاطع قبل تجفيفها، أما العمليات اللاحقة لذلك فتُدعى تصنيعاً (القطع إلى مقاسات قابلة للاستخدام)، ليتم بعد ذلك عمليات الإنهاء، والتي تتضمن التسوية والتنعيم؛ لتعطي سطحاً أملساً من الناحية البصرية.

3-1- تحويل الخشب:

يتم نشر الأخشاب للحصول على المقاطع المصمتة، في حين يتم تقشير الطبقات الرقيقة، للحصول على الخشب المعاكس، وعادةً ما تشرّح القشور الخارجية Veneers إلى شرائح على امتداد وجه الجذع، للحصول على أكبر قدر من التأثير البصري للّون والشكل، وثمة أنواع للقطع بحسب الزاوية بين سطح الخشب وحلقات النمو، كما يلي:

1. **النشر البسيط Plain Sawn:** يتم القطع بحيث يلتقي سطح الخشب مع حلقات النمو بزاوية أقل من 45°، حيث يميل الخشب المنشور إلى عقد أقل. وهو الأكثر اقتصاداً لأنه سريع جداً في الإنتاج، وقليل من النفايات المرتبطة به، وللأخشاب بهذا النوع من القطع مظهراً أكثر زخرفية، لكنها أكثر قابلية للتشوه بفعل التقبب Cupping.
2. **النشر الربعي Quarter Sawn:** يعتمد على تقسيم الجذوع إلى أرباع، ثم تقسيم هذه الأرباع إلى ألواح خشبية، ويتم القطع بحيث يلتقي سطح الخشب مع حلقات النمو بزاوية تزيد عن 45°، ويكون هذا الخشب أكثر مقاومة للاهتراء، ومقاوماً لعوامل الطقس، وأقل عرضة للالتواء والتقشر، كما أن النشر الربعي يتطلب تكلفة كبيرة، لأن الجذع يتطلب إعادة تهيئة عند كل عملية قطع، كما أنه يُنتج نفايات أكثر، إلا أن المقاطع الأكبر تكون أكثر استقراراً من ناحية الأبعاد.
3. **النشر المسطح Live sawn:** إن أكثر الطرق اقتصادية في قطع الأخشاب هي قطع الجذع من طرف إلى آخر، وهو أكثر أنماط النشر شيوعاً، والذي ينتج عنه مزيج من خشب منشور بسيط وخشب منشور ربعياً، وفي هذه الطريقة يمكن أن تميل القطعة المركزية إلى الانكسار، بينما تكون الأجزاء المتبقية عرضة للالتواء أو الالتفاف.
4. **النشر الشعاعي Rift Sawn:** يتم بشكل شعاعي وعمودي على حلقات النمو، ليتم بذلك الحفاظ على طبقات الخشب مرئية، فيما تؤدي هذه الطريقة إلى الهدرفي الخشب أكثر من الطرق الأُخرى.
5. **النشر المتوازي Parallel Boards:** تتشابه طريقة النشر المتوازي مع طريقة النشر المسطح، مع الاختلاف بأنه يتم الحصول على قطع من قسمٍ أصغر، وبمشاكل التواءٍ أقل.
6. **النشر بطريقة القطعة الكاملة Whole Piece:** يتم خلال هذه الطريقة إزالة اللحاء، ومن ثم نشر الجذع بالكامل للحصول على قطعة مربعة واحدة.
7. **النشر المتقاطع Cross Cut:** يتم اللجوء إلى هذه الطريقة بغرض الحصول على قطع شديدة المقاومة ، باستخدام خشب القلب بالكامل.
8. **النشر المتشابك Interlocked Cut:** يتم نشر الألواح التي تتقاطع مع قلب الجذع أولاً، ويوفر الخشب المتبقي ألواحاً أرق، ولكنها ذات مقاومة كبيرة للتشوه.
9. **النشر بطريقة كانتيباي Cantibay Method:** تولّد هذه الطريقة ألواحاً عريضةً بدون زوائد كبيرة ، مع الغاء قلب الجذع.



2-3- مقاسات الخشب:

يعرّف المعيار البريطاني والأوروبي المقاسات المعيارية للأخشاب الطرية المنشورة عند محتوى رطوبة 20%، وتتحدد أفضل الأبعاد كما يلي:

- **الطول:** ما بين (1.8 – 7.2)م حيث تتطلب الأطول التي تزيد على 5.7 م وصل، لعدم توفر هذه الأطول بسهولة، لتعد الأطوال التي تزيد عن 5م نادرة ومُكلفة.
- **العرض:** ما بين (75 -300) ملم، حيث تعد العروض التي تزيد على 2.25 ملم نادرة ومُكلفة.
- **السماكة:** ما بين (16-300) ملم.

3-3- تجفيف الخشب:

إن الهدف الرئيس للتجفيف هو جعل محتوى رطوبة الخشب مستقراً، بحيث يكون منسجماً مع شروط التوازن التي سيُستعمل فيها، وتتحدد طرق التجفيف بما يلي:



- **التجفيف بالهواء:** حيث يتم تكديس الخشب معزولاً عن سطح الأرض، ومحمياً من المطر، بوضعه على طبقات تفصل بينها قطع خشبية تدعى أوتاداً؛ تتحكم في جريان الهواء بحسب سماكتها، وبذلك يقوم الهواء بإزالة الرطوبة من سطح الأخشاب، ومن ثم يتم طلاء نهايات الأخشاب بطلاء عازل للماء (طلاء من القار)، خوفاً من حدوث انفلاق طولي للأخشاب.
- **التجفيف بالفرن:** يتم ذلك بتسخين الخشب داخل حجرة مغلقة، يمكن برمجتها وفق جدول دقيق من الحرارة والرطوبة، وبالتالي يتم تجفيف الرطوبة لأي محتوى مرغوب من دون خفض ملحوظ لجودة الخشب.

4- مواصفات الأخشاب:

يتم استعمال الأخشاب في صناعة البناء لأغراض متعددة جداً، بدءاً من العناصر البنيوية المنشورة بشكلٍ خشن وحتى الإكساء، والزخرفة وأشغال النجارة الممكننة بشكلٍ كبير.

يمكن أن تشمل مواصفات الخشب لكل استعمال تحديد خشب معين (قاسٍ أو طري)، عندما تكون المقاومة والديمومة العاملين الرئيسين، توصف الأخشاب بصنف المتانة أو بالجمع بين نوع الأخشاب ودرجة المتانة، حيث يتم تحديد درجة المتانة (بصرياً و آلياً)، إضافةً إلى ذلك يجب أن يشمل تصنيف الأخشاب قياسات أبعادها وإنهاء سطحها، ومحتوى الرطوبة وأي معالجة وقائية أو خاصة.

5- منتجات الأخشاب:

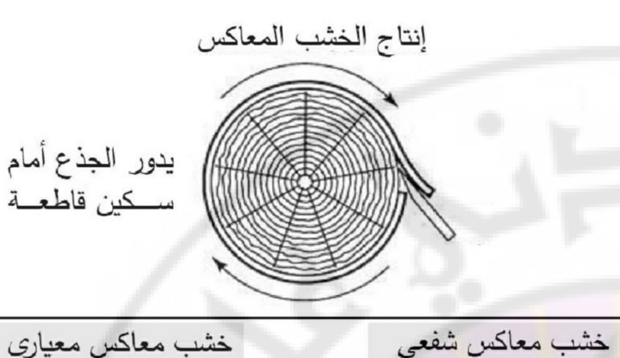
هناك طيف واسع من المنتجات المصنوعة من مادة الخشب، تتفاوت في حجمها من المقاطع الخشبية الصغيرة والألواح الرقيقة، ورقاقات الخشب والنشارة، وحتى الألياف الخشبية. هناك منتجات كثيرة يتم تصنيعها من مقاطع خشبية صغيرة أو من منتجات خشبية ثانوية، ناتجة عن تحويل الخشب المصمت (إذا كان من الممكن أن تذهب هدراً دون الاستفادة منها)، لتظهر المنتجات فيما يلي:

- الخشب المعاكس.
- الخشب الصفائحي.
- الخشب الصفائحي المتصالب.
- الخشب الصفائحي القشري.
- الألواح البنيوية المعزولة.
- الألواح المصمتة والألواح الرقائقية.
- ألواح نشارة الخشب.
- الألواح الليفية.
- بلاطات الصوف الخشبي.
- بلاطات القش المضغوط.
- أسقف القش.
- الدفوف.
- بلوك ستيكو Steko Blocks.
- القشور المرنة.

وسيتم خلال هذه المحاضرة التعرف على بعض هذه المنتجات.

5-1- الخشب المعاكس:

يتم تصنيع الخشب المعاكس بتطبيق عدة طبقات رقيقة من الخشب (صفائح) بعضها فوق وصولاً إلى السماكة المطلوبة، حيث يتم تليين جذع الخشب بالماء أو تتم معالجته بالبخار، ثم يدوّر قبالة سكين فتقشره إلى قشور أو رقائق بسماكةٍ ثابتة، بعد ذلك يتم تقطيع الصفائح الرقيقة بالمقاس المُراد، ثم تُجفف وتُلبس بلاصق قبل تجميعها في طبقات، وصولاً إلى عدد الطبقات المطلوب (غالباً ما تكون سماكة الطبقات غير متساوية، لذلك يتم استعمال الطبقات الأكثر سماكةً).



يتم تركيب الصفائح بعضها فوق بعض، بحيث تكون اتجاهات الألياف للطبقات المتجاورة متعامدة مع بعضها للحصول على مقاومة منتظمة، ولتخفيض حركة الرطوبة الإجمالية، حيث يتم معالجة طبقات الصفائح والغراء في مكبس ساخن، ثم يتم تنعيم سطوحها بالرمل، وتُقص بأبعاد معيارية تمهيداً لتغليفها.

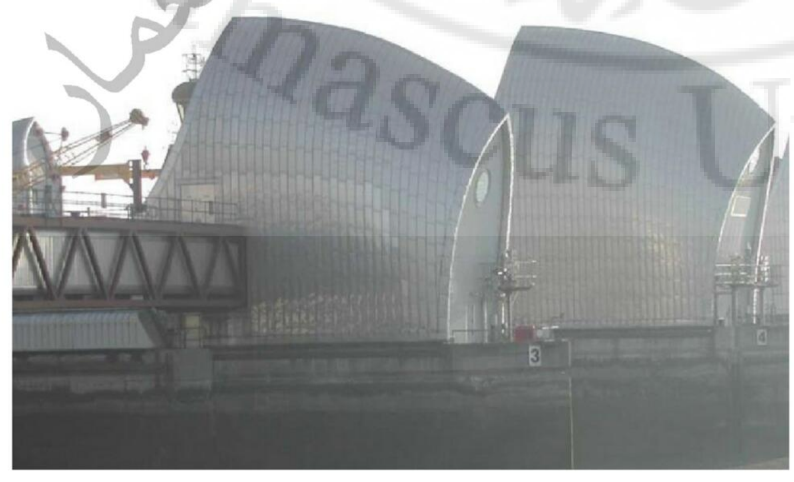


تتحدد القياسات المعيارية للوح بـ (244* 122) سم^2، وقد يُنتج بعض المصنعين ألواحاً تصل حتى (305* 152.2) سم^2 أو حتى أكبر من ذلك بقليل، وتتراوح سماكة اللوح للاستعمال في التشييد العادي بين (4 – 25) ملم، مع أنه تتوفر ألواح سماكة تصل إلى 5.1 ملم، وذلك لأغراض خاصة.

5-2- الخشب الصفائحي:

يتم تصنيعه بمعالجة طبقات من مقاطع خشبية مقصوصة بعناية ضمن منشار هزاز آلي، وبعد ذلك يتم تغريتها بعضها ببعض على نحوٍ متواصل بلاصق راتنجي، وقد تكون الصفائح موجهة شاقولياً أو أفقياً، حيث تصنّع المقاطع بأبعاد تتراوح ما بين (56ملم *180ملم) إلى (215ملم *1035ملم)، وبأطوال كبيرة وصولاً إلى قياس قابل للنقل 30م، بالرغم من أن مجازات تصل لأكثر من 50م ممكنة.

يتم تصنيع الخشب الصفائحي من الخشب الطري مثل الخشب الأحمر أو الأبيض الأوروبي (السوّيد)، مع أن الأضلاع المكونة ضمن بنية السقف في حاجز الفيضان عند نهر التايمز جنوب إنكلترا قد صُنعت من الخشب القاسي الإفريقي الغربي (الإيروكو Iroko).



5-3- الخشب الصفائحي المتصالب:

إن الخشب الصفائحي المتصالب شبيه بالخشب المعاكس التقليدي، ما عدا كون الصفائح أكثر سمكاً، حيث تصل سماكات الألواح بين (50-300)ملم، بالرغم من أنع يمكن إنتاج ألواح بسماكة 500 ملم، أما المقاس الأقصى للوح فهو محكوم بإمكانات النقل، والتي هي عادةً (13.5*3)م^2، غير أن الحد الأدنى هو (20*4.8)م^2.

5-4- الخشب الصفائحي القشري:

يعرف الخشب الصفائحي القشري باسم الصفائح المكروية Microlam، وهو أكثر اقتصاديةً من الخشب الصفائحي، لأن الهدر قليل في عملية إنتاجه، وتتحدد عملية التصنيع في ثلاث درجات جودة، بتجميع فتائل الخشب، ولصقها براتنج البولي يوريثان تحت الضغط والحرارة، ففي إحدى العمليات يتم تشريح الجذوع إلى فتائل خشب مسطحة بطول 30 سم، ثم تُعالج هذه الفتائل بالراتنج، وتُصفف وتُكبس بالحرارة، لينتج كتلاً من الخشب المُعاد تشكيله، وفي عمليةٍ أُخرى، تُغطى الفتائل بسماكة 3 ملم أو رقائق من قشر الخشب بلاصق مانع للماء، وتُرزّم بعضها ببعض، بحيث تكون أليافها متوازية، بعد ذلك يتم تكبس الفتائل أو القشور معاً، وتُعالج بالمايكروويف، لتشكّل كتلاً أو صفائح من الخشب بطول يصل إلى 26 م. يتم استخدامها في استعمالات الأعمدة أو العوارض الرئيسة أو العوارض الثانوية في السقف، أو الجمالونات الشبكية.



5-5- الألواح البنيوية المعزولة:

هي مكونات بناء خفيفة الوزن مسبقة الصنع، يتم تصنيعها بأبعاد نموذجية (عرض 2.1م وارتفاع 4.2م)، ويتم استعمالها للجدران الداخلية والخارجية والأسقف الحمّالة. وعلى عكس الألواح المحشوة، فإن الألواح البنيوية المعزولة يمكن أن تسند حمولات شاقولية أو أفقية لا بأس بها من دون دعامات داخلية، كما يتم تصنيع هذه الألواح من طبقتي واجهة عاليتي الكثافة، تفصل بينهما نواة عازلة خفيفة الوزن، وهذه الطبقات الثلاث مغرّاة بشدة بعضها ببعض، بضمان عملها سوّيةً كوحدة بنيوية واحدة. تُكون الطبقات الخارجية من لوح الفتائل الموجهة المتصالبة Oriented Strand Board (OSB) المصنعة من قشور خشب كبيرة، أو لوح نشارة مغرّاة بالإسمنت، أو بمنتجات أساسها الجص، وتكون بسماكة بين (8-15) ملم، أما النواة فتتألف من رغوة خلوية جاسئة، مثل البولي يوريثان أو البولي إيزوسيانورات أو رغوة الفينوليك أو البوليسترين المتمدد أو المبثوق، وتعطي سماكة وحدة إجمالية تتراوح بين (70-250) ملم.

يتأثر الأداء البنيوي غالباً بالسماكة وبالخصائص الفيزيائية للطبقتين الخارجيتين، ويُحدد الأداء الحراري بشكلٍ كبير، بعرض ومميزات العزل لمادة النواة.

6-5- الألواح المصمتة والألواح الرقائقية:

تعرف الألواح الخشبية الحبيبية بأنها مواد لوحية تنتج من حبيبات الخشب أو الكتان أو القنب أو غيرها من المواد السيلولوزية الخشبية تحت الضغط أو الحرارة، ويمكن أن تكون الحبيبات على شكل قشور مسطحة صغيرة بسماكة موحدة، وبأبعاد محددة مسبقاً، أو حبيبات صغيرة ناتجة عن خراطة الخشب أو شرائح الخشب متوسطة القياس، أو حبيبات ناعمة ناتجة بشكلٍ عرضي من القطع والسحج والصنفرة بالمنشار والأدوات الأُخرى نشارة أو رقاقات أو فتائل، حيث يتم تصنيع الألواح الخشبية من شرائح حشبية مع راتنج ورابط إسمنتي على التوالي.

7-5- ألواح نشارة الخشب:

يتم تصنيع ألواح نشارة الخشب من نفايات الخشب أو نفايات تشذيب أشجار الغابة، التي تحوّل إلى شائح خشب، حيث يتم تجفيفها بحسب حجمها، ثم تُغطى الشرائح بلاصق بنسبة 8% من وزنها تقريباً، ثم تُشكل إلى ألواح.
تُشكل شرائح الخشب إما عشوائياً فتعطي ألواحاً بمقطع عرضي منتظم، أو تُوزَع بحيث تكون المادة الخشنة في المركز والشرائح الأنعم عند السطح؛ للحصول على منتج أكثر نعومة، بعد ذلك يتم ضغط الألواح، وتعالج بالحرارة بين صفيحتي مكبس بدرجة حرارة 200 درجة سيليسيوس، ثم تُقص الألواح في النهاية وتُنعم سطوحها، ثم تُرزّم، ليتم بذلك إنتاج ألواح بسماكة تصل إلى (3-6) ملم، وبأبعاد طول وعرض معياريين منها (244 * 122) سم^2 و (366 * 122) سم^2.

